

FT8215 应用手册

概述

FT8215 是一款三相、无传感器正弦控制直流无刷马达驱动 IC，内置驱动 MOS。芯片高度集成电机控制所需部件，外围元器件少，噪声低，电机转矩脉动小。内置 EEPROM，可配置客户电机参数、启动和调速方式。集成转速指示功能，可通过 FG 引脚或 I2C 接口实时读取电机转速。速度控制方式可选择恒转速、恒电流和开环控制，具有电机转速指示功能，集成过流、欠压、过温、堵转等多种保护模式，睡眠电流 40uA。

应用场景

落地扇、散热风扇等

特性

- 无传感器磁场定向控制（FOC），减小电机噪声和振动
- 恒转速、恒电流或开环控制模式
- 模拟/PWM/I2C/CLOCK 调速
- I2C 接口用于电机控制和状态回读
- 静止状态支持初始位置检测启动
- 支持顺逆风启动
- Soft-On Soft-Off (SOSO)
- 驱动电流：2A
- 内置 EEPROM，可配置电机参数、启动和调速方式
- 可配置多段速度曲线
- 堵转保护
- 过流保护
- 缺相保护
- 正、反转自由切换
- 可配置电机转速指示或堵转
- 可多次烧写

目录

1	应用电路	3
2	功能框图	4
3	说明	5
3.1	调试上位机界面	6
3.2	芯片建立通讯	7
3.3	调试时进行调速及看 FG 输出	7
3.4	调试步骤简介	8
4	电机参数调试	8
4.1	电机参数及硬件参数配置	8
4.2	配置 FOC 的参数	10
4.3	启动参数	13
4.4	运行参数	16
4.5	调速&FG/RD	17
4.6	保护	19
4.7	顺逆风处理	20
4.8	转子位置检测&预定位	21
4.9	扩展参数	22
4.10	曲线设置	24
5	状态显示	25
5.1	电机状态	25
5.2	故障状态	26
5.3	状态寄存器	27
6	烧录及校验	28
6.1	芯片 ID 配置	28
6.2	参数配置及保存	28
6.3	烧录及校验	29

2 功能框图

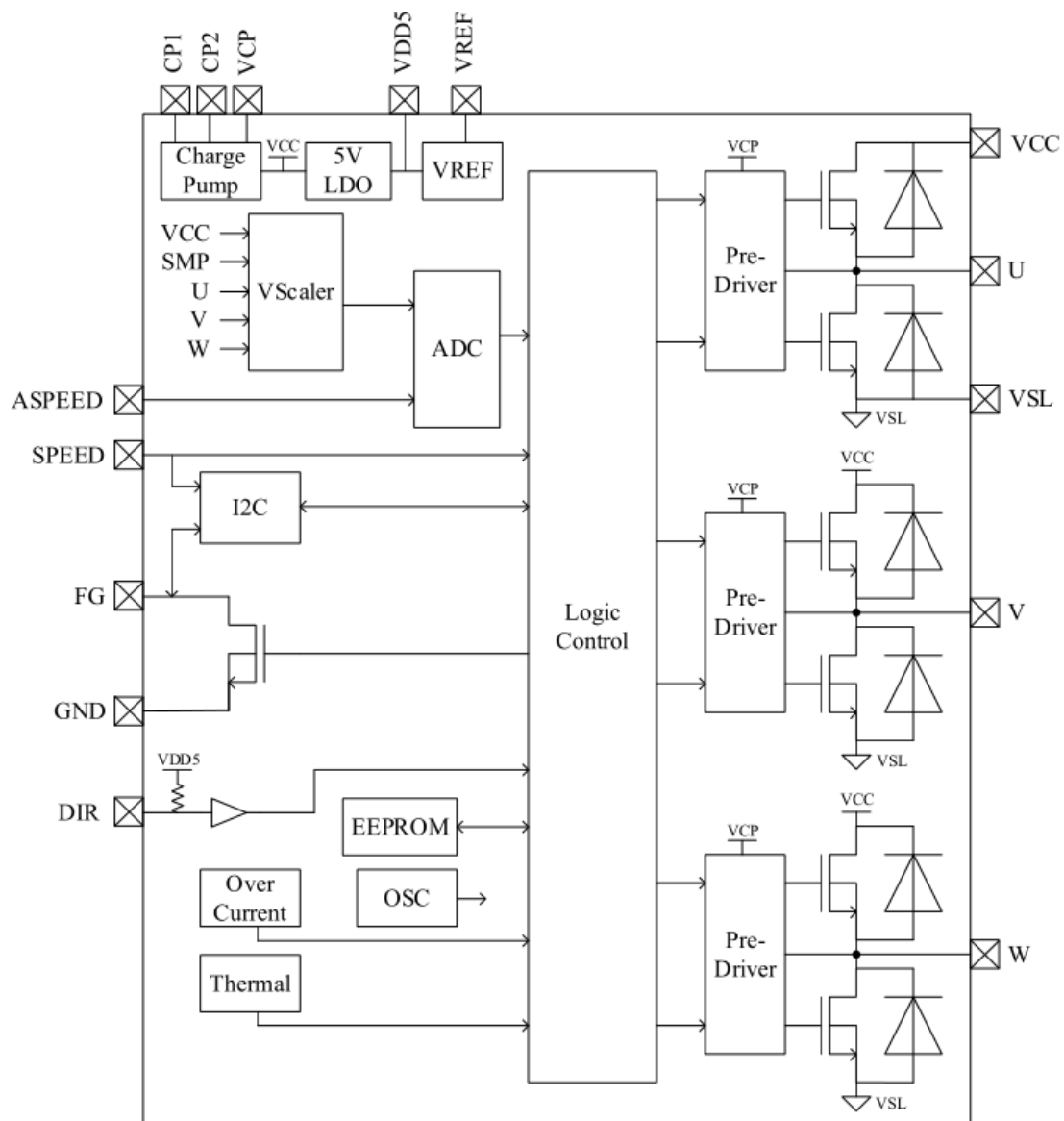


图 3 FT8215Q 功能框图

3 说明

FT8215 采用标准 I2C 通讯协议。用户可通过 I2C 接口对寄存器中的特定电机参数进行重新编程并对 EEPROM 进行编程，用于帮助优化既定应用的性能。

SPEED/FG 管脚复用为 I2C 通讯接口时，用作调试和烧录，也可用于 I2C 模式调速；

SPEED 管脚为数字调速接口；

ASPEED 管脚为模拟调速接口；

DIR 管脚为正反转方向控制接口；

FG 管脚为电机转速或堵转指示接口，由 EEPROM 配置选择；

仿真器（丝印如下图所示）与目标板连线说明：

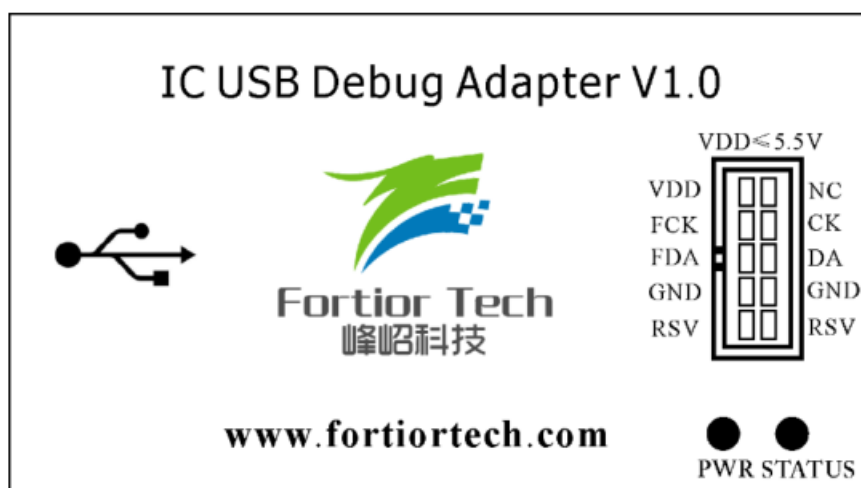


图 4 仿真器丝印

仿真器<-->目标板
VDD<-->VDD5
FCK<-->SPEED
FDA<-->FG
GND<-->GND

3.1 调试上位机界面

FT8215 无感 FOC 调试采用上位机界面进行操作，具体的调试界面如下图所示。本手册基于上位机调试界面对 FT8215 调试进行说明。



图 1 上位机界面

3.2 芯片建立通讯



图 6 芯片建立通讯

供电且连接仿真器与调试板，此时 ID Setting 中的 Find 按键高亮，点击 Find 按键，与芯片建立通讯，Debug 按键高亮，则可进行调试和烧录操作。

3.3 调试时进行调速及看 FG 输出

选择 I2C 调速方式时，可直接在 Display 页面中的 SpdCtrl 中选择占空比后，点击 Debug 进行调速。

当选择另外的调速方式时，因 SPEED 脚与 FG 脚复用为芯片通讯脚，在点击完 Debug 调试时进行调速及看 FG 输出信号按如下步骤操作：

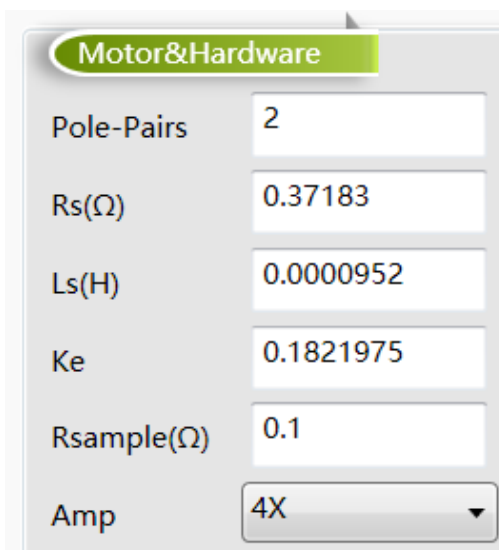
- 1、调好参数点击 Debug（注意，Display 页面的 PwmShift 选项需选择 Disable）。
- 2、保持 VCC 不断电。
- 3、点击 ID Setting 中的 Exit I2C 按键退出通讯。
- 4、将仿真器与板子断开连接。
- 5、输入 pwm 信号进行调速

3.4 调试步骤简介

- 1、 关闭堵转、缺相保护，配置电机参数调试中的 1、2、3、4 步，将电机转动起来。
- 2、 根据实际应用决定是否加顺逆风检测、初始位置检测、预定位等，细调启动。
- 3、 添加外环，调试效率并验证稳定性。
- 4、 根据要求设置调速方式、FG/RD 等。
- 5、 验证保护及整体方案的可靠性。
- 6、 生成烧录 Bin 文件，烧录 EEPROM 即可。

4 电机参数调试

4.1 电机参数及硬件参数配置



Motor&Hardware	
Pole-Pairs	2
Rs(Ω)	0.37183
Ls(H)	0.0000952
Ke	0.1821975
Rsample(Ω)	0.1
Amp	4X

图 7 电机参数及硬件

4.1.1 电机参数测量方法

- ◆ 电机极对数 P，一般由电机厂商提供；
- ◆ 电阻 Rs 对应的是电机相电阻，是线电阻的一半，测量频率为 100Hz；
- ◆ 电感 Ls 对应的是相电感，一般是线电感的一半，调试效率时可以微调整，测量频率为 1kHz；
- ◆ 反电动势 Ke 测量方法，用示波器的探头接电机的一相，地接电机另外两相中的某一相，转动负载，测出反电动势波形。因反电动势波形是正弦的，取中间的一个正弦波，测量其峰峰值 Vpp 和

频率 f 。对应公式如式 1 所示：

$$Ke = 1000 * P * \frac{V_{pp}}{2 * 1.732 * 60 * f}$$

示例，测量某电机的反电动势波形如下：

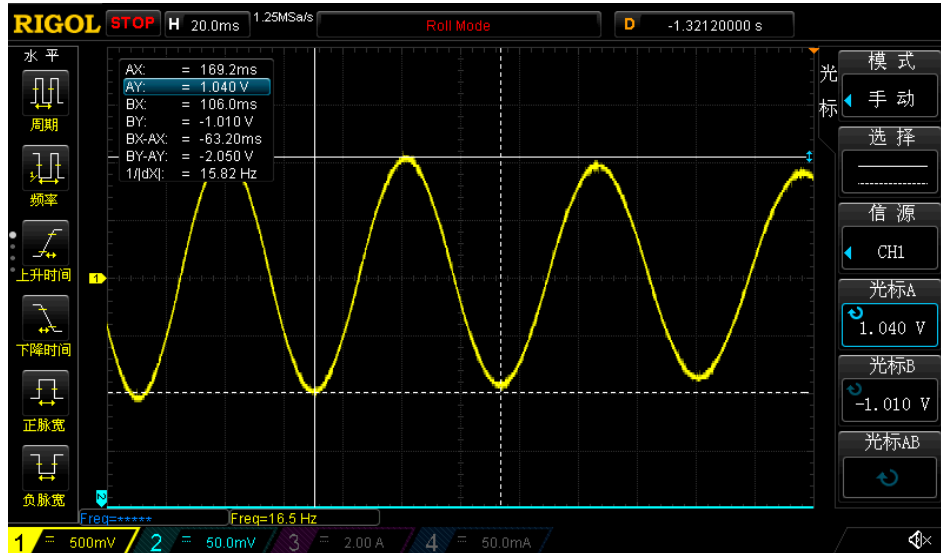


图 8 反电动势波形

测量其中一个正弦波的峰峰值 V_{pp} 为 2.05V，频率 f 为 15.82Hz，极对数为 4，则：

$$\text{反电动势 } Ke = 1000 * 4 * \frac{2.05}{2 * 1.732 * 60 * 15.82} = 2.4939$$

4.1.2 采样电阻、放大倍数、ADC 参考电压

电流基准 I_{base} 的计算与采样电阻 R_{sample} 、运放放大倍数 A_{mp} 、ADC 参考电压 V_{ref} 相关。最大采样电流指的是 ADC 端口电压为 ADC 参考电压 V_{ref} 时对应的电流；最小采样电流指的是 ADC 端口电压为 0 对应的电流。电流基准、最大采样电流、最小采样电流的计算公式如式 2、式 3、式 4 所示：

$$I_{base} = \frac{V_{ref}}{R_{sample} * A_{mp}}$$

$$I_{s \max} = I_{base} / 2$$

$$I_{s \min} = -I_{base} / 2$$

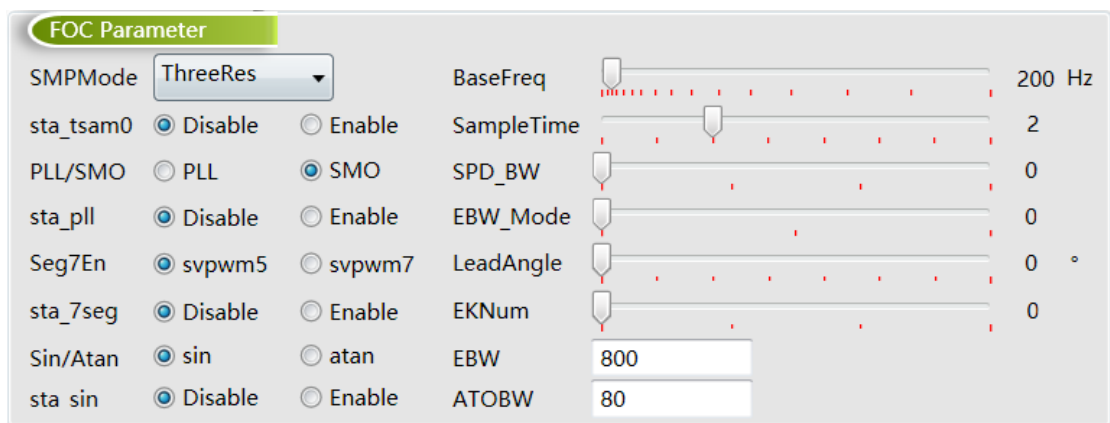
示例： $R_{sample}=0.5\Omega$ ， $A_{mp}=4$ ， $V_{ref}=4.5V$ ，则 $I_{base} = 2.25A$ ， $I_{s \max} = 1.125A$ ， $I_{s \min} = -1.125A$ 。

在调节过程中，电机运行电流不能超过最大采样电流 $I_{s \max}$ ，也不能小于超过采样电流 $I_{s \min}$ ，应留有

一定余量。一般来说，最大采样电流是电机运行最大电流的 1.5-2.5 倍。

- ◆ 采样电阻根据电机运行最大电流进行设计。采样电阻值越大，采样精度越高；但值越大，消耗在采样电阻上的功率就越高，采样电阻温升就越高。在采样电阻的功率选择上，电流平方乘以电阻不能超过采样电阻的额定功率，需根据温升做降额处理。
- ◆ 采样电阻确定后，根据设计的最大采样电流来选择放大倍数。放大倍数由硬件实现，有四个选项可选，分别为 4 倍、6 倍、8 倍、12 倍。
- ◆ ADC 参考电压可选择 4.5V、5V、3V、4V，一般默认选择 4.5V。

4.2 配置 FOC 的参数



FOC Parameter			
SMPMode	ThreeRes		
sta_tsam0	<input checked="" type="radio"/> Disable	<input type="radio"/> Enable	BaseFreq
PLL/SMO	<input type="radio"/> PLL	<input checked="" type="radio"/> SMO	SampleTime
sta_pll	<input checked="" type="radio"/> Disable	<input type="radio"/> Enable	SPD_BW
Seg7En	<input checked="" type="radio"/> svpwm5	<input type="radio"/> svpwm7	EBW_Mode
sta_7seg	<input checked="" type="radio"/> Disable	<input type="radio"/> Enable	LeadAngle
Sin/Atan	<input checked="" type="radio"/> sin	<input type="radio"/> atan	EKNum
sta sin	<input checked="" type="radio"/> Disable	<input type="radio"/> Enable	EBW
			ATOBW

图 9 FOC 参数

◆ 采样电阻模式 SMPMode

可根据实际选择单电阻采样 SingleRes，双电阻采样 DoubleRes，三电阻采样 ThreeRes。选择采样电阻模式后需要更改硬件电路进行匹配，具体电路见图 1 图 2 的 FT8215Q 应用电路。选用双/三采样电阻模式时，采样电阻阻值 Rsample 填 0.1R，选用单采样电阻模式时，采样电阻阻值按实际选用电阻填入。

◆ 基准频率 BaseFreq

根据电机运行最大转速、极对数、确定基准频率。原则是最大转速*2*极对数/60，在基准频率选项里选择一个最接近的基准频率。

◆ 三电阻模式双电阻启动 Sta_tsam0

只在 SMPMode 选择 ThreeRes 时起作用，选 Enable 以双电阻模式启动，选 Disable 按正常三电阻启动。

◆ 采样时间 SampleTime

选择单电阻模式 SingleRes 时滞后采样，可选择 0 - 7，数字越大采样时间越滞后；选择双/三电阻模式 DoubleRes/ThreeRes 提前采样，可选择 0 - 7,数字越小采样时间越提前。

◆ PLL/SMO

选择 PLL 以 PLL 模式运行，选择 SMO 以 SMO 模式运行。

◆ 速度滤波参数 SPD_BW

速度计算过程中采用低通滤波进行速度滤波，SPDBW 为速度低通滤波的滤波系数，共分为 4 档。

◆ PLL 启动 sta_pll

只在选择 SMO 模式下起作用。选择 disable 正常启动，选择 enable 以 PLL 启动。

◆ PLL 的估算参数 EBW_Mode&EBW

PLL 的估算参数主要包含反电动势滤波值 EBW、反电动势滤波模式 EBWMode。EBW 一般是基准频率的 1-4 倍，其影响电机的启动和最高转速。EBW 太小，容易导致无法达到最高转速；EBW 太大，估算器参数容易溢出。常与 EBWMode 配合调节启动和运行的 EBW。

EBWMode:

EBWMode 设 0: 启动和运行都是一个 EBW。

EBWMode 设 1: 启动时前 0.8s 调用 1/2 的 EBW 作为输入参数，0.8s 后为正常的 EBW。

EBWMode 设 2: 启动时前 0.8s 调用 1/4 的 EBW 作为输入参数，0.8s-1.6s 的输入参数为 1/2 的 EBW，1.6s 后为正常的 EBW。

有些电机，启动和运行的 EBW 不同，启动时 EBW 会偏小，运行时 EBW 偏大。这种情况下，建议客户先设置 EBWMode 为 0，分别调试并记录启动时 EBW 和运行时 EBW。调试最高转速时，若没有达到目标转速，可适当加大 EBW。启动时 EBW 太大，易导致部分启动点难启动。若运行的 EBW 远大于启动的 EBW，可根据情况设置 EBWMode 为 1 或 2。当加入转子位置检测时，可设置 EBWMode 为 0。

◆ SVPWM 模式 Seg7En

SVPWM 模式可选五段式和七段式。SVPWM5 五段式，开关次数少，开关损耗小，转矩脉动大；SVPWM7 七段式，开关次数多，转矩脉动小。

◆ 弱磁角度 LeadAngle

弱磁角度可选以下 8 个值(0°/2.82°/5.64°/8.47°/11.3°/14.1°/16.9°/19.7°)。用户可根据实际情况调试一定的弱磁角度。

◆ 7 段式启动选择 sta_7seg

只在 SVPWM 模式选择 SVPWM5 时七段式时起作用。选择是否用 SVPWM7 段式进行启动。选

Disable 正常启动，选 Enable 以 7 段式启动。

◆ 速度估算的参数 EKNum&ATOBW

ATOBW 为速度估算中 PI 的参数，经典值为 8.0-200.0。与 EBW 一样，影响电机的启动和最高转速，常与 EKNum 配合调节启动和运行的 ATOBW。

EKNum:

EKNum 设 0: 启动和运行都是一个 ATOBW。

EKNum 设 1: 启动时前 0.8s 调用 1/2 的 ATOBW 作为输入参数，0.8s 后为正常的

ATOBW。

EKNum 设 2: 启动时前 0.8s 调用 1/4 的 ATOBW 作为输入参数，0.8s-1.6s 的输入参数为 1/2 的 ATOBW，1.6s 后为正常的 ATOBW。

EKNum 设 3: 启动时前 0.8s 调用 1/8 的 ATOBW 作为输入参数，0.8s-1.6s 的输入参数为 1/4 的 ATOBW，1.6s-2.4s 的输入参数为 1/2 的 ATOBW，2.4s 后为正常的 ATOBW。

调试时，可分别调试启动和最高转速运行的 ATOBW。大部分电机启动和运行的 ATOBW 可兼容。

只有部分电机才需选择不同的 ATOBW。

◆ Sin/Atan

选择 sin 以 sin 模式运行，选择 Atan 以 Atan 模式运行。

◆ Sta sin

只在选择 Atan 模式下起作用。选择 disable 以正常模式启动，选择 enable 以 sin 模式启动。

4.3 启动参数

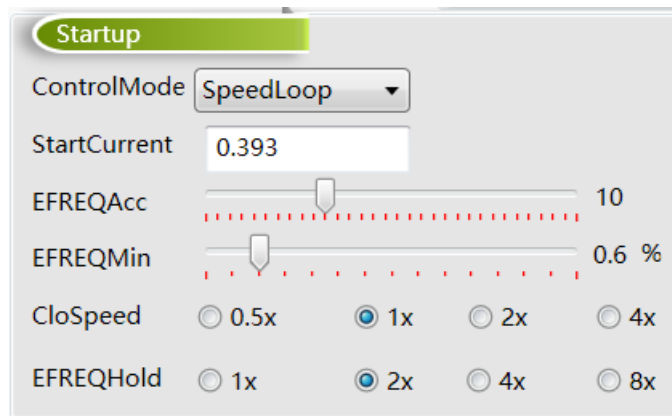


图 10 启动参数

FT8215 芯片启动方式的原理是给定启动电流，估算算法估算当前速度，当估算器的估算速度小于启动最小切换转速 $EfreqMin$ ，强制速度从 0 开始，每个运算周期与启动增量 $EfreqAcc$ 相加，同时启动限制 $EfreqHold$ 进行最大值限幅。电机角度是通过输出的强制速度计算给出。当估算器的估算速度大于或等于 $EfreqMin$ 时，就不再强制速度给出，切入电流闭环运行，速度和角度由估算器自身计算得到。

启动过程如下图所示：

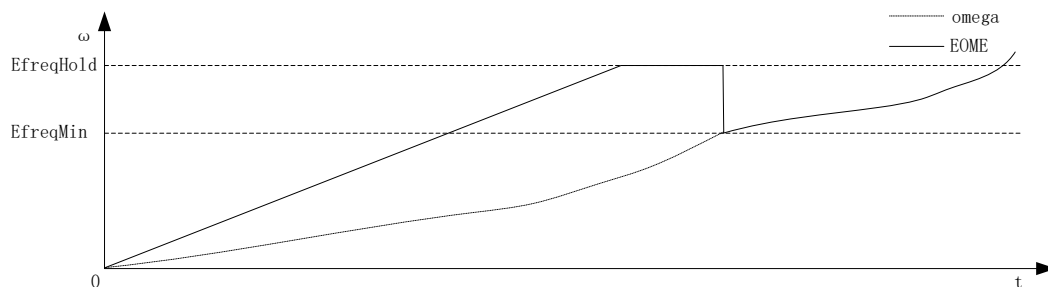


图 11 启动过程图

◆ 控制模式 ControlMode

用户可根据实际需求，选择不同的控制模式。有三种控制模式可选，分别为恒速度控制 SpeedLoop、恒电压控制 VoltageLoop、恒电流控制 CurrentLoop。

◆ 启动电流

FT8215 采用了软启动的方式启动，启动的电流取决于负载的大小。

◆ 启动增量 EfreqAcc

启动增量 $EfreqAcc$ 是影响启动可靠性的一个重要参数，其设置范围为 0-31，初始参考值为 10。电

机负载越轻，EfreqAcc 就越大。

静止启动时，电机抖动一下后停止，同时有持续电流或电机反偏角度大时启动后有一个停顿感，此时可适当加大 FOCEfreqAcc。因为 FOCEfreqAcc 太小，启动转速增加较慢，易产生停顿感或难启动。

EfreqAcc 设置太大时存在如下现象：启动后电机持续的抖动或估算速度瞬间跳变非常高。此时启动速度增加过快使实际电机已经失步。

◆ 启动最小切换转速 EfreqMin

EfreqMin 为启动的最小切换速度，当电机速度大于启动最小切换速度时，退出强拖加速，直接进入电流环闭环控制。以极对数 $P=2$, 基准频率 $BASEFREQ=BaseF320$, 最小切换转速

$EfreqMin=BaseF000195$ 为例, $EfreqMin=0.00195*60*320/2=18.72rpm/min$ 。

不同的 EfreqMin 的波形对比如下：

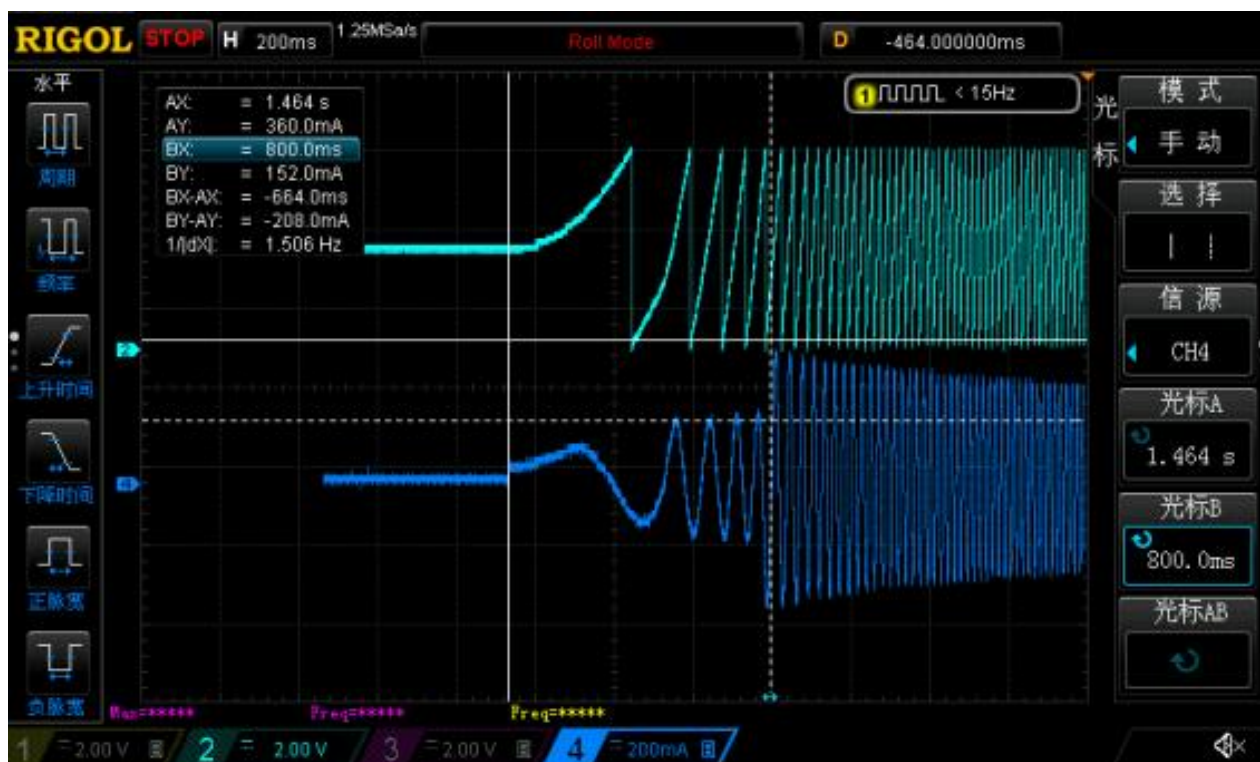


图 12 最大的 EfreqMin，蓝色表示电流，绿色为角度

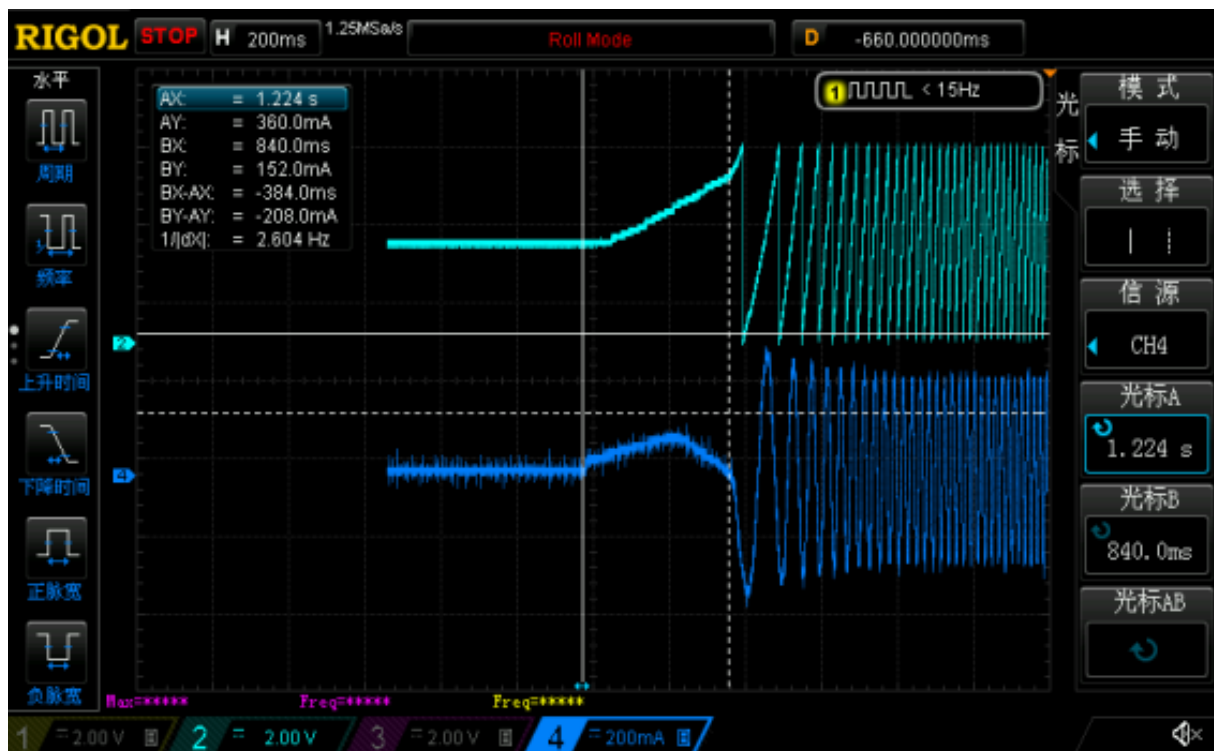


图 13 最小的 EfreqMin，蓝色表示电流，绿色为角度

从电流波形可以看出最大的 EfreqMin 比最小的 EfreqMin 更慢进入电流闭环,使启动时间变长。
在调试过程中, EfreqMin 可从小往大调,为使启动比较顺滑,不需太大 EfreqMin。

◆ 切入外环转速 CloseSpeed

CloseSpeed 为纯电流环控制切入到双闭环控制的转速判断条件。其配置与 EfreqHold 有关,有四个档位可选。常见选择为 EfreqHold 的一倍。

◆ 启动限制转速 EfreqHold

EfreqHold 为启动的限制速度,其配置与 EfreqMin 有关,有四档选择。常用选择为 EfreqMin 的 2 倍。

4.4 运行参数

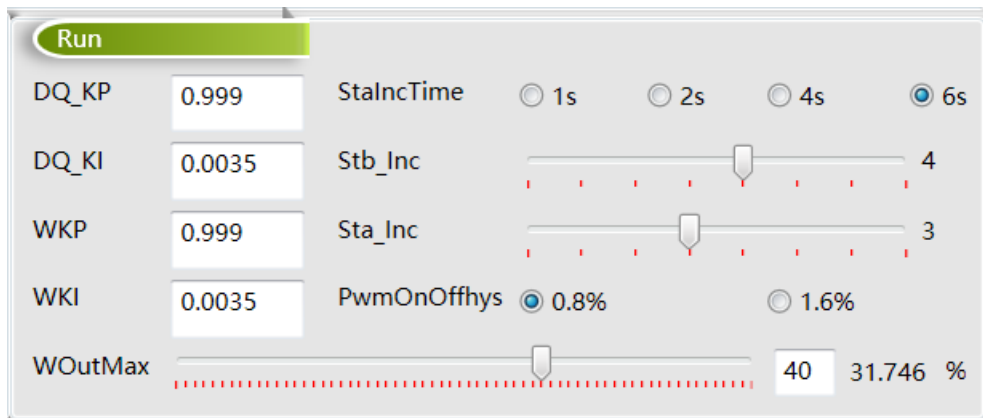


图 14 运行参数

◆ 电流环的 Kp、Ki

电流环的 Kp、Ki 影响的是电流环的响应和稳定性。DQKp 值的范围为 0.0-4.0，初始参考值为 1.0；DQKi 值的范围为 0.00-0.500，初始参考值为 0.02。

◆ 外环的 Kp、Ki

外环 PI 参数影响到电机速度响应，其调节前提是电流内环已稳定。若电流内环波动较大，需先将电流内环调节稳定再调试外环。，因电压响应快于速度响应，若电机控制选择电压环时，其 Wkp、Wki 会比选择速度环 Wkp、Wki 小很多。当电压环控制下，系统不稳定、电流波形异常，此时应降低外环的 PI 参数。Wkp 值的范围为 0.0-4.0；WKi 值的范围为 0.00-0.500。

◆ 外环输出最大值 Woutmax

电压环和速度环会用到 PI 外环，而电流环是不调用 PI 的外环的。PI 外环输出作为 Q 轴电流给定，为让系统超调小和更稳定，需设置外环输出最大值。

Woutmax 可选 0-63，范围为(0-0.5)*最大采样电流)。其设置要略高于电机运行最高转速所需的最大电流。

◆ 启动爬坡增量作用时间 StalncTime

启动时启动爬坡增量 Sta_Inc 作用时间，可选择 1s，2s，4s，6s。Sta_Inc 作用时间结束后 Stb_Inc 起作用。

◆ 外环爬坡增量 Stb_Inc

当电机改变档位时，为让系统更稳定，常采用将设定值以阶梯爬坡的形式赋值到目标值中。Stb_Inc 即为阶梯的爬坡增量，其设置的档位可选 1-7 和 0。1-7 依次表示为从慢到快，爬坡越快，系统响

应就越快，超调也会随之越严重。0 表示不通过阶梯爬坡方式，直接将设定转速赋值给目标转速。用户可根据响应时间需求和超调情况设置爬坡增量档位的大小。

◆ 启动爬坡增量 Sta_Inc

当电机启动时，为让系统更稳定，常采用将设定值以阶梯爬坡的形式赋值到目标值中。Sta_Inc 即为阶梯的爬坡增量，其设置的档位可选 1-7 和 0。1-7 依次表示为从慢到快，爬坡越快，系统响应就越快，超调也会随之越严重。0 表示不通过阶梯爬坡方式，直接将设定转速赋值给目标转速。用户可根据响应时间需求和超调情况设置爬坡增量档位的大小。

◆ 电机输出关闭迟滞选择 PwmOnOffhys

PwmOnOffhys 是指输出关闭对应的输入数字 PWM 占空比的迟滞大小，可选择 0.8% 和 1.6%。在选择 CLOCK 调速时可选择 8Hz 和 20Hz。

4.5 调速&FG/RD

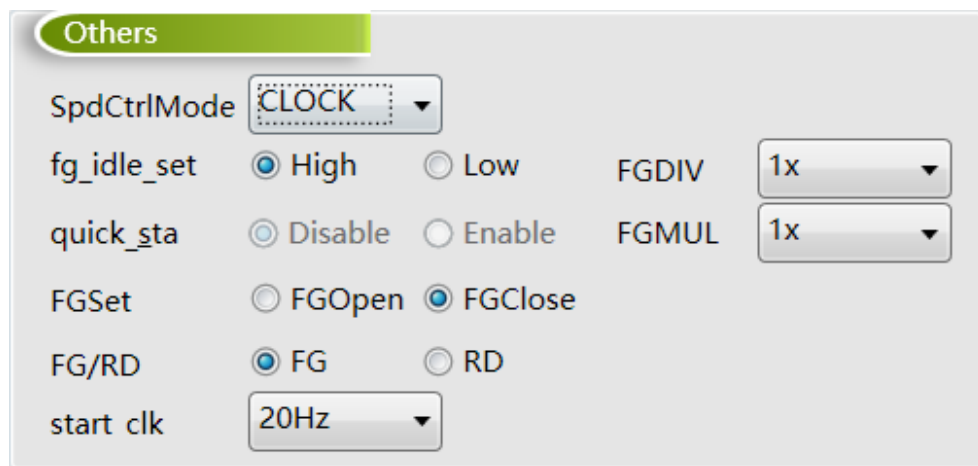


图 15 调速&FG/RD

◆ 调速模式 SpdCtrlMD

支持数字 PWM、模拟电压 Analog、I2C、CLOCK 四种调速输入接口，同一时间只能选择一种调速方式，其中数字 PWM 和模拟电压支持输入反相。选择模拟电压调速时，调速信号从第 7 脚 ASPEED 脚输入；选择 PWM 和 CLOCK 调速时，调速信号从第 8 脚 SPEED 脚输入。当控制模式选择电压环时，也可选择调电源电压来调速。**注意，选择 CLOCK 调速时，需将 ControlMode 选择 SpeedLoop 模式。**

◆ FG 默认电平设置 fg_idle_set

可选择 FG 的默认电平状态，选 High 时电机停止时 FG 为高电平，选 Low 时电机停止时为低电平。

◆ 快速启动功能 quick_sta

选择 Disable 检测到 pwm 周期正常响应启动，选择 Enable 检测到输入 pwm 高电平时响应启动，从静止到启动时间变短。在选择 CLOCK 调速时不可选，固定为 Disable。

◆ FGSet

FGSet 设置可选择只有闭环输出 FG 或开闭环都输出 FG。选 FGOpen 时开闭环都输出 FG，选 FGClose 时只有闭环输出 FG。

◆ FG 与 RD 输出设置 FG/RD

RD 功能与 FG 管脚复用,可根据应用选择 FG 或者 RD。选 FG 时第 9 脚输出 FG 信号，选 RD 时第 9 脚输出 RD 信号。

◆ CLOCK 调速启停频率 Start clk

Start clk 是 CLOCK 调速时控制的启动/停止频率，可设置 20Hz，40Hz，60Hz，80Hz。**注意，只有 ControlMode 选择 SpeedLoop 模式且 SpdCtrlMode 选择 CLOCK 模式时，该选项才可进行选择。**

◆ FG 分频倍频设置 FGMul、FGDiv

当 FG/RD 模式选择 FG 时，设置参数 FGMul 实现 1/2/3/4 倍频，设置参数 FGDiv 实现 1/3/4/5 分频，最终 FG 输出根据倍频和分频的系数共同决定，可实现一个机械周期不同的 FG 输出信号。
一个机械周期显示的 FG 个数= $\text{Pole-Pairs} \times \text{FGMul} / \text{FGDiv}$ 。

例：四对极电机，一个机械周期显示 3 个 FG 信号，则设置 FGMul 倍频系数为 3，设置 FGDiv 分频系数为 4，即 $k=3/4$ 。

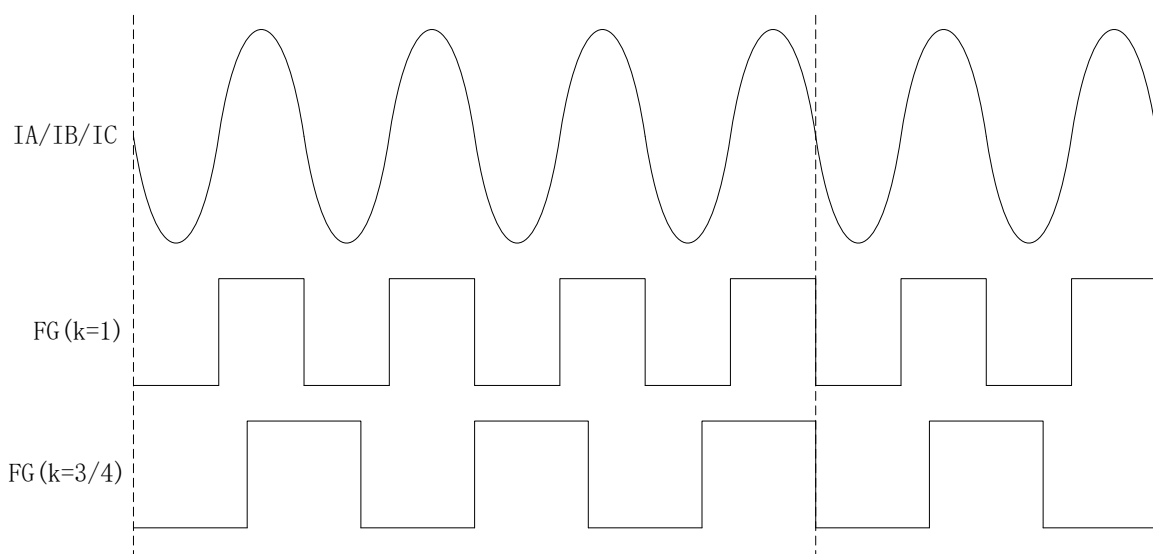


图 16 k=1 和 k=3/4 的 FG 输出图

◆ CLOCK 闭环转速关系设置 FGMul、FGDiv

当选择 CLOCK 调速模式时，FGMul 与 FGDiv 用于设置转速与 CLOCK 频率之间的关系，

公式为：转速=（输入 PWM 频率*60/极对数）/FGMul/FGDiv

如电机为 5 对极，FGMul 设置 1/3,FGDiv 设置 2，输入 PWM 频率为 100Hz，转速=（100Hz*60/5）/2/（1/3）。转速为 1800。

4.6 保护

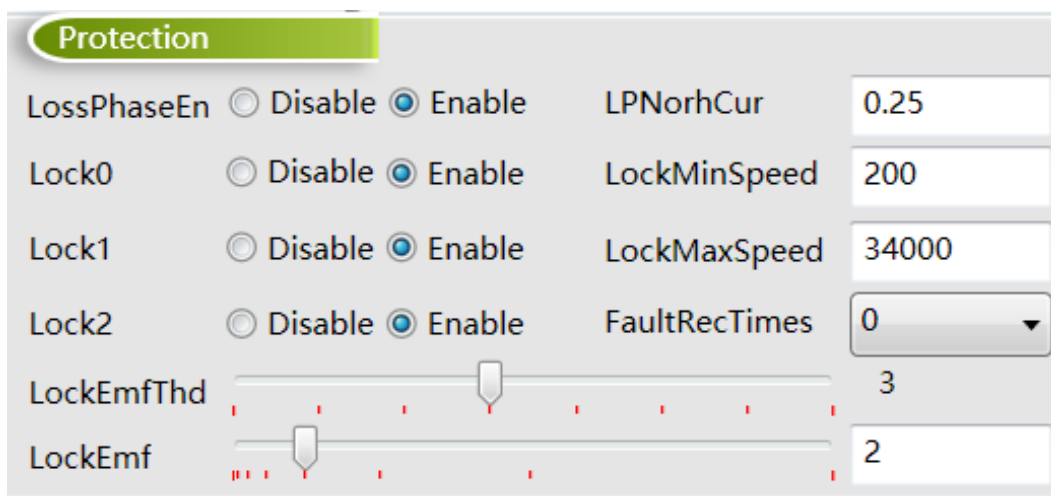


图 17 保护参数

FT8215 支持过流保护、欠压保护、堵转保护、缺相保护、过温保护；所有保护发生后芯片立刻关闭输出。在保护状态中，可通过 Fault Code 查看保护源。

◆ 保护重启次数 FaultRecTimes

当过流、堵转、缺相、过温中任意保护发生时，可根据 FaultRecovTimes 选择不重启/重启 5 次/重启 10 次/无限重启。欠压保护时，当电压恢复到可重启的电压范围，自动重启。

◆ 过流保护

当芯片检测到相线电流大于 3.8A，则判定为过流，芯片立刻关闭输出，4 秒后根据 FaultRecTimes 是否重启。

◆ 欠压保护

当电压低于 3.6V，则判定为欠压，芯片立刻关闭输出。当进入欠压保护状态后，若电压恢复到 4V 以上，芯片恢复输出。

◆ 过温保护

当芯片内部结温高于 165℃，则判定为过温，芯片立刻关闭输出，等芯片内部结温降低于 150℃时，

根据 FaultRecovTimes 决定是否重启。

◆ 堵转保护

堵转保护提供 3 种保护方式：Lock0、Lock1、Lock2，其每个保护都有其使能位。Lock1 堵转保护在电机切入闭环后才开始判定，当判定为堵转后芯片立刻关闭输出，4 秒后根据 FaultRecTimes 是否重启。

Lock0: 可使能或不使能。其判断原理是当估算转速低于 LockMinSpeed 时关闭输出。

Lock1: 可使能或不使能。其判断原理是当估算转速高于 LockMaxSpeed 且估算磁通 EMF 小于判断磁通 LockEmfThd 时关闭输出。LockEmfThd 可选 0-7 档，档位越大判断磁通越大。

Lock2: 可使能或不使能。其判断原理是（估算速度 Speed/估算磁通 EMF > LockEmf）时关闭输出。

◆ 缺相保护

缺相保护，可选择使能或者不使能。缺相保护根据三相电流来判定，当一相电流峰值大于另一相电流峰值 3 倍，且一相电流峰值大于 LPNorhCur 时关闭输出。

4.7 顺逆风处理

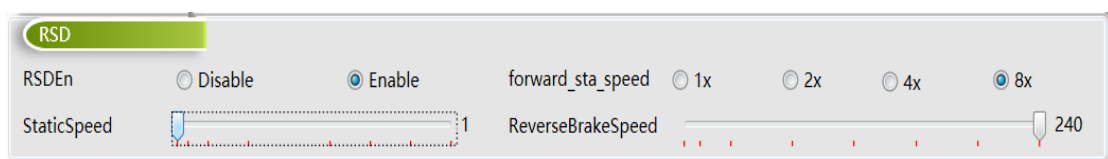


图 18 顺逆风处理配置

◆ 顺逆风使能 RSDEn

在风机应用中，当存在经常有外界风力吹动负载反向运行或者负载正转还未停止就要重新启动的情况时，风机启动部分可加入顺风逆风判断功能。

◆ 高速顺风不启动速度设置 forward_sta_speed

高速顺风时不输出，当电机顺风速度高于 ReverseBrakeSpeed 乘以 forward_sta_speed 时，电机不进入顺风启动，直至速度降低低于该值。如 ReverseBrakeSpeed 设置 200Hz，forward_sta_speed 设置 2x，电机极对数为 2 对极，当顺风转速高于 $200\text{Hz} \times 2 \times 60 / 2 = 12000$ 转时，电机不进入顺风启动，顺风转速低于 12000 转时直接顺风启动。

◆ 顺逆风静止频率 StaticSpeed

当电机正转，转速大于顺逆风静止频率时，直接切入闭环。

当电机静止或正转低于顺逆风静止频率时，启动后再切入闭环。

◆ 反向刹车速度 ReverseBrakeSpeed

为防止高速刹车使电流过冲的现象，设置电机转速低于反向刹车速度才开始刹车。

4.8 转子位置检测&预定位

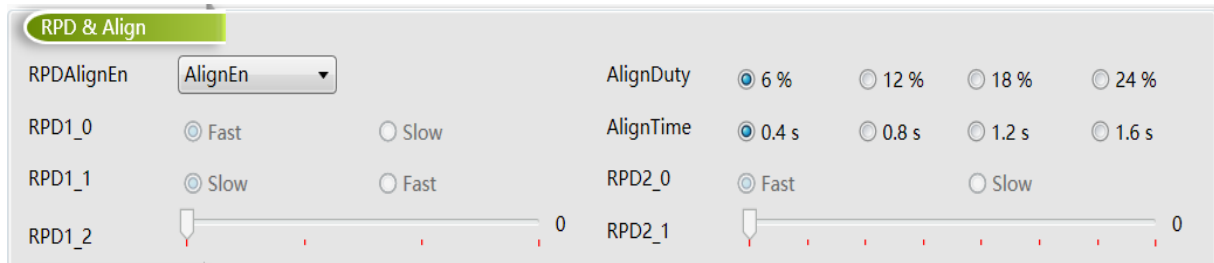


图 19 转子位置检测&预定位

◆ RPDAlignEn

可选择 **disable**，无预定位与位置检测；选择 **AlignEn** 使能预定位；选择 **RPD1** 使能位置检测模式 1；选择 **RPD2** 使能位置检测模式 2。根据应用情况可选择使能或不使能预定位。当选择了初始位置检测，就不需使能预定位。

◆ 预定位模式

预定位，将电机转子的位置固定在已知的初始角度位置，启动时位置以该角度为初始角度开始计算。其通过设置一定的 Q 轴电流、D 轴给定电流为 0 的方式，使电机铁芯产生磁通量来实现的。

RPDAlignEn 选择 **AlignEn** 使能预定位。

预定位力矩 **AlignDuty**：预定位力矩可以选择 6%、12%、18%、24% duty 的预定位力矩。选择 **duty** 越大定位力度越大。

预定位时间 **AlignTime**：预定位时间可选择 0.4s、0.8s、1.2s、1.6s。负载比较大时，预定位时间可设置长时间，当负载较小时，可设置为 0.4s。若某些风机应用中不希望存在明显的定位效果，可以不使能预定位，可通过调试启动参数实现可靠性高的无定位启动。

◆ 转子位置检测 RPD1 模式

该模式使用于电感相差较小的电机，如散热风扇。

RPDAlignEn 选择 **RPD1** 使能转子位置检测 RPD1 模式。RPD1_0 与 RPD1_1 共同作用选择采样点快慢。

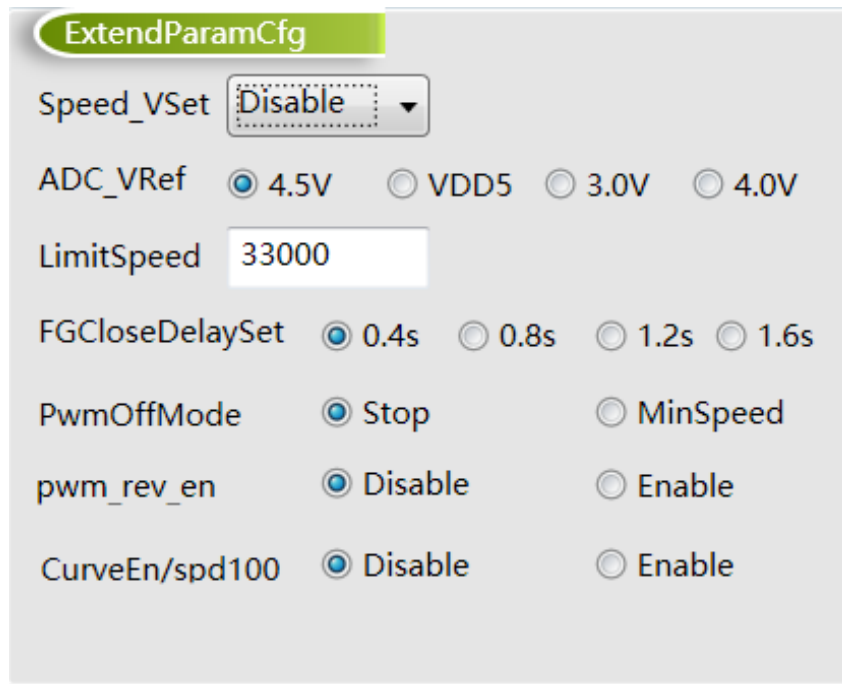
RPD1_2 选择档位，档位值越高，判断越准确，但噪音大。过大可能会触发过流保护；档位值过低，容易导致判断不准确。建议在合理的噪音范围内，能准确判断出转子初始位置即可。

◆ 转子位置检测 RPD2 模式

该模式使用于电感相差较大的电机，如落地扇。

RPDAlignEn 选择 RPD2 使能转子位置检测 RPD2 模式。RPD2_0 选择采样点快慢。RPD2_1 选择档位，档位值越高，判断越准确，但噪音大。过大可能会触发过流保护；档位值过低，容易导致判断不准确。建议在合理的噪音范围内，能准确判断出转子初始位置即可。

4.9 扩展参数



The screenshot shows the 'ExtendParamCfg' configuration window with the following settings:

- Speed_VSet**: A dropdown menu set to 'Disable'.
- ADC_VRef**: Radio buttons for 4.5V (selected), VDD5, 3.0V, and 4.0V.
- LimitSpeed**: A text input field containing the value '33000'.
- FGCloseDelaySet**: Radio buttons for 0.4s (selected), 0.8s, 1.2s, and 1.6s.
- PwmOffMode**: Radio buttons for Stop (selected) and MinSpeed.
- pwm_rev_en**: Radio buttons for Disable (selected) and Enable.
- CurveEn/spd100**: Radio buttons for Disable (selected) and Enable.

图 20 扩展参数

◆ SPEED 管脚默认电平设置 Speed_VSet

SPEED 管脚默认电平设置，选择 disable 为悬空状态；选择 1.8VMode 时管脚内部上拉至 5V，2V 以上识别为高电平；选择 Pullup 管脚内部上拉至 5V，3V 以上识别为高电平；选择 Pulldown 管脚内部下拉至 GND。

◆ ADC 参考电压设置 ADC_VRef

ADC 参考电压选择，可选择 4.5V、5V、3V、4V。默认选择 4.5V。

◆ 限制转速 LimitSpeed

在控制过程中，可以通过配置限制速度 LimitSpeed 来实现限制电机运行的最高速度。若不需要限速，将设置 LimitSpeed 大于电机运行最高速度，接近速度基准即可。

◆ 堵转延迟输出 FG 时间 FGCloseDelaySet

当 FGSet 选择 Enable 只闭环输出 FG 时，堵转后切入闭环时 FG 可选择延迟 0.4s、0.8s、1.2s、1.6s。

◆ PwmOffMode

PWMOFFMode 表示数字 PWM 占空比输入低于 X_ON 时，关闭输出或以设定的最低输出转动。

选择 Stop 表示关闭输出；选择 MinSpeed 表示以设定的最小输出转动。

◆ Pwm_rev_en

disable 表示调速曲线为正比例曲线；enable 表示调速曲线为反比例曲线。

◆ CurveEn/spd100

①在速度环和电流环下：

选择 Disable 时，全程为闭环，不切入电压环。此时 Pwm_98_En 选 Disable 时，输入 100%占空比输出速度为 MaxSpeed 或 MaxCurrent，Pwm_98_En 选 Enable 时，输入 98%~100%占空比为最高转速平台，输出速度为 MaxSpeed 或 MaxCurrent。

选择 Enable 时。Pwm_98_En 选 Disable 时，不会切入电压环，输入 100%占空比输出速度为 MaxSpeed 或 MaxCurrent；Pwm_98_En 选 Enable 时，输入 98%以上占空比切入电压环，98%~100%速度为一平台，输出同一占空比，同时 Y_Max_Sel 设置 98%~100%切入电压环时输出的占空比。

②在电压环下：

选择 Disable 时，曲线为两点一线设置，最低点由 X_ON 和 Y_ON 决定，最高点由 Y_Max_Sel 决定，Y_25，Y_50，Y_75 不起作用。当 Pwm_98_En 选 Disable 时，Y_Max_Sel 决定输入 100%占空比时的输出占空比大小。当 Pwm_98_En 选 Enable 时，Y_Max_Sel 决定输入 98%~100%占空比时的输出占空比大小，输入 98%~100%占空比时对应的转速一致。

选择 Enable 时，曲线为多段式曲线设置，最低点由 X_ON 和 Y_ON 决定，Y_25，Y_50，Y_75 分别决定输入 25%，50%，75%时输出的占空比大小，最高点由 Y_Max_Sel 决定。当 Pwm_98_En 选 Disable 时，Y_Max_Sel 决定输入 100%占空比时的输出占空比大小。当 Pwm_98_En 选 Enable 时，Y_Max_Sel 决定输入 98%~100%占空比时的输出占空比大小，输入 98%~100%占空比时对应的转速一致。

4.10 曲线设置

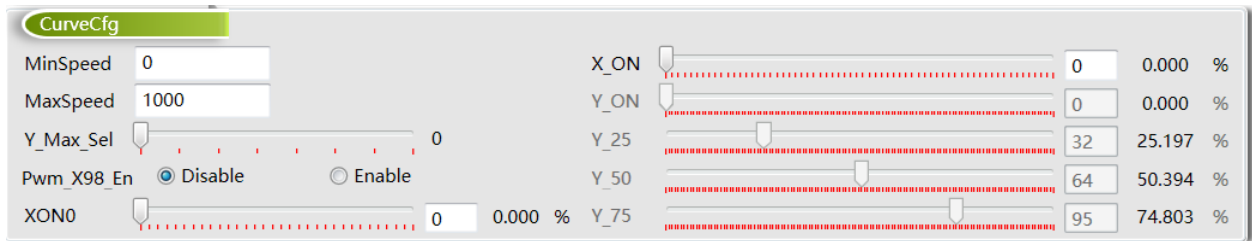


图 21 扩展参数

◆ 最大最小速度 MinSpeed&MaxSpeed

速度环下，MaxSpeed 和 MinSpeed 表示电机运行的最大速度和最小速度，其写入寄存器的值与填写的实际值最大有 1%的误差。MaxSpeed 的设置范围为 0-100%的速度基准；MinSpeed 的设置范围为 0-50%的速度基准。

◆ 最大最小电流

电流环下，MaxCurrent 和 MinCurrent 表示电机运行的最大电流和最小电流，其写入寄存器的值与填写的实际值最大有 1%的误差。MaxCurrent 的设置范围为 0-100%的最大采样电流；MinCurrent 的设置范围为 0-50%的最大采样电流。

◆ Y_Max_Sel

当可调节输入 98%或 100%占空比（由 Pwm_98_En 决定）时输出的占空比大小，选 0 时对应输出 100%，选 7 时对应输出 87.5%，数值越大，输出对应占空比越小。

◆ Pwm_X98_En

最高转速平台设置，当选择 Disable 时，输入 100%占空比对应最高转速，当选择 Enable 时，输入 98%占空比对应最高转速，输入 98%~100%占空比时速度一致，为最高转速平台。

◆ XON0

设置低 duty 全速运行，输入 pwm 低于该设置时电机以 MaxSpeed 或 MaxCurrent 设置的速度运行，可设置 0%到 24%。此功能在电压环模式下无效。**注意，该设置值不可大于 X_ON 设置值。**

◆ X_ON

X_ON 是指输出关闭对应的输入数字 PWM 占空比。电机关闭的迟滞由 PwmOnOffhys 设置决定。

◆ Y_ON

仅在 ControlMode 选择 VoltageLoop 下，Y_ON 设置在 X_ON 对应输入占空比下的输出占空比大小。

◆ Y_25

仅在 ControlMode 选择 VoltageLoop 下，Y_25 设置在 25%输入占空比下的输出占空比大小。

◆ Y_50

仅在 ControlMode 选择 VoltageLoop 下，Y_50 设置在 50%输入占空比下的输出占空比大小。

◆ Y_75

仅在 ControlMode 选择 VoltageLoop 下，Y_75 设置在 75%输入占空比下的输出占空比大小。

5 状态显示

5.1 电机状态

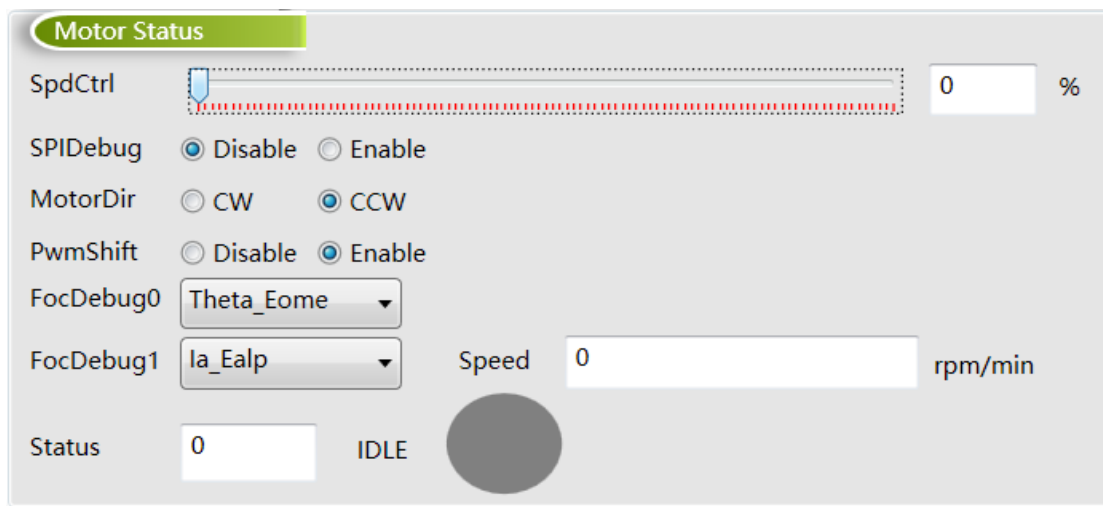


图 22 电机状态

◆ 调速 SpdCtrl

当芯片处于调试模式时，可选择 I2C 调速，调速的范围为 0-100%，对应 0x00-0xFF。

◆ SPIDebug&FocDebug0&FocDebug1

用作内部测试用，在调试模式下，可选择是否使能 SPIDebug（特殊情况使用，默认选择 Disable），并通过我司专用 SPI 工具输出内部的一些信号。如估算角度、采集到的相电流 IA、IB、IC 等。想观察哪些变量，可以通过 FocDebug0 和 FocDebug1 选择。

◆ MotorDir

在 I2C 调速模式下，可通过选择 CW 与 CCW 来调节转向，在 PWM 调速，电压调速，Clock 调速模式下，该选择项不起作用。

◆ PwmShift

用作内部测试用，默认选择 disable。

◆ 当前转速 Speed

电机在运行时，芯片会将电机运行的当前转速反馈到 GUI 上，以使用户查看。

◆ 电机状态 Status

GUI 会实时显示电机所处的状态，以使用户查看。

5.2 故障状态

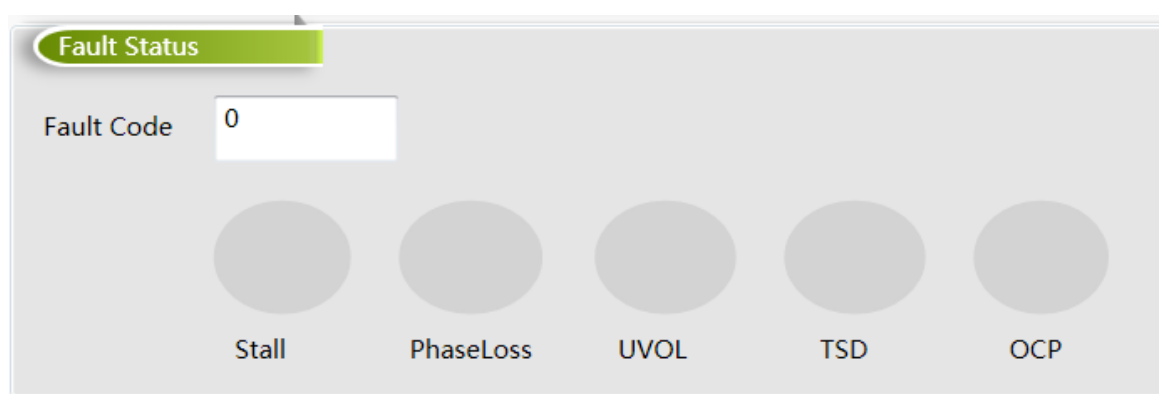


图 23 故障状态

◆ 故障状态

当电机处于保护状态时，会显示当前处于哪种保护下，以使用户查找分析原因。当正常运行状态时，故障状态显示为 0。

5.3 状态寄存器

Status Register			
THETA	0x0000	IAAREF	0x0000
OMEGA	0x0000	IBAREF	0x0000
UDC	0x0000	ICAREF	0x0000
WOUT	0x0000	EMF	0x0000
UQ	0x0000	PWMREAL	0x0000
UD	0x0000	IQFDB	0x0000
IA_MAX	0x0000	timarr	0x0000
IB_MAX	0x0000	IC_MAX	0x0000
RPDPOSITION	0x0000		

图 24 状态寄存器

寄存器名称	含义	值范围
THETA	当前 FOC 工作角度	0-65535
OMEGA	估算器估算速度	0-32767
UDC	母线电压，等于实际电压/(ADCVRef*10)*32767	0-32767
WOUT	外环输出，对应 Q 轴参考电流 IQREF	0-32767
UQ	Q 轴电压输出，输出饱和时接近 32767	0-32767
UD	D 轴电压输出	-32768-32767
IA_MAX	A 相电流的最大值	0-32767
IB_MAX	B 相电流的最大值	0-32767
RPDPOSITION	转子位置检测得到的角度，等于 theta/180*32767	0-65535
IAAREF	A 相的电流基准，正常范围为 16383 附近	0-32767
IBAREF	B 相的电流基准，正常范围为 16383 附近	0-32767
ICAREF	C 相的电流基准，正常范围为 16383 附近	0-32767
EMF	与磁通相关的变量	0-32767
PWMREAL	给定占空比，等于实际占空比/100%*255	0-255
IQFDB	Q 轴反馈电流	0-32767
Timarr	内部测试用寄存器，无实际使用意义	0-32767
IC_MAX	C 相电流的最大值	0-32767

6 烧录及校验

6.1 芯片 ID 配置

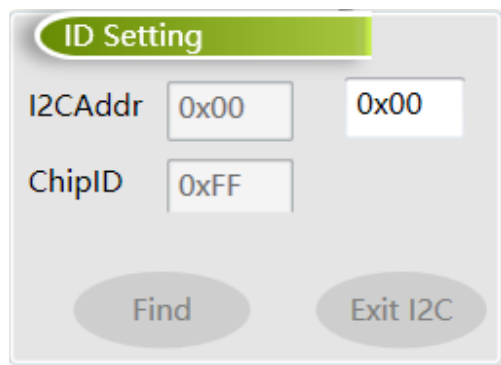


图 25 芯片 ID 配置

◆ I2CAddr

I2C ADDRESS 指的是 I2C 的地址，其范围为 0x00-0x7F，默认为 0x00。

◆ ChipID

ChipID 用于用户针对不同项目，配置芯片型号标识，其范围为 0x00-0xFF，默认为 0x00。

6.2 参数配置及保存

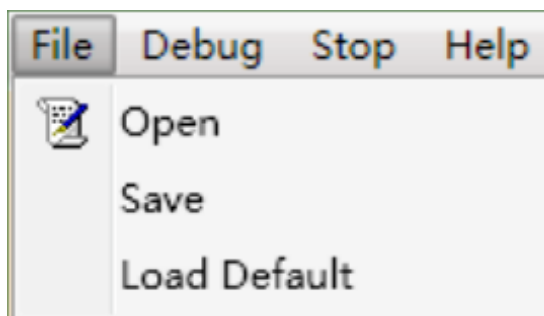


图 26 参数配置及保存

调试完成后可以将参数保存，下次可点击 Open 导入，文件路径可选择；同时支持默认参数导入。

6.3 烧录及校验

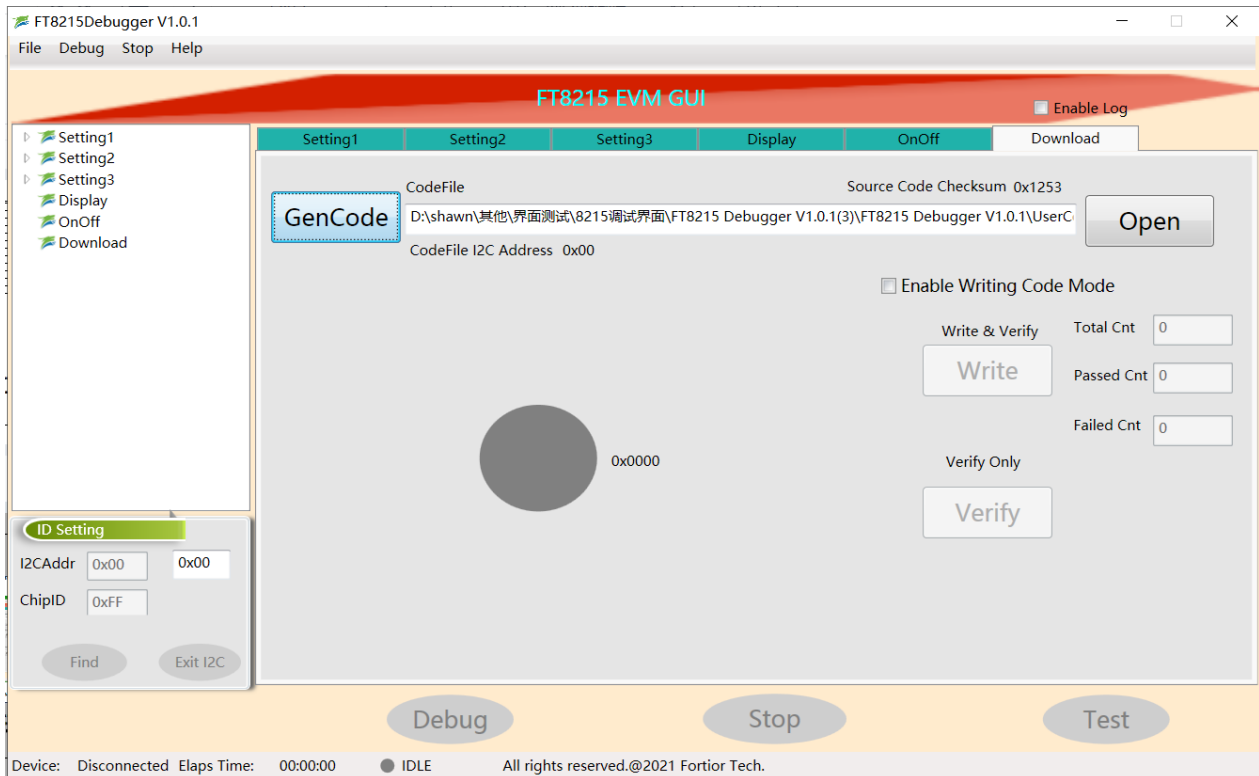


图 27 烧录及校验界面

参数调试完成后通过 GenCode 生成 Bin 文档，同时产生 CRC 校验码，并保存在软件默认路径下，方便下次直接导入进行调试、烧录和校验：

选中 ☒ Enable Writing Code Mode

，然后点击 Write 就可以进行烧录并校验，支持烧录次数记录（包括烧录总次数、成功次数和失败次数）。同时也可以单独校验芯片。**注意：烧录前确认调速模式是否正确配置、需注意 I2C 地址是否匹配、PCBA 烧录校验时建议将电机停止。**

