

AT32 Motor Monitor Application Note

前言

本用户手册主要基于雅特力芯片、电机控制库以及电机应用PC软件，详细描述了如何控制电机以及调试控制参数。让使用者快速熟悉电机库、了解应用PC软件的功能、使用说明以及注意事项。用户可由此文档了解如何使用PC软件进行电机参数、控制参数的调试。

支持型号列表：

支持型号	AT32F 系列 AT32L 系列
------	----------------------

目录

1	硬件与软件环境准备	7
1.1	硬件需求	7
1.2	软件需求	7
2	用户接口操作说明	8
2.1	建立连接	8
2.2	控制与状态显示列表	9
2.2.1	状态机显示	9
2.2.2	固件控制模式显示	9
2.2.3	错误类型显示	9
2.2.4	控制命令按钮说明	11
2.2.5	控制模式下拉菜单	11
2.3	基本参数页面	12
2.3.1	电压与温度显示	12
2.3.2	最大/最小速度	13
2.3.3	最大/最小电流	13
2.3.4	最大/最小位置 (PMSM 编码器/霍尔模式)	14
2.3.5	目标速度/转矩设定	14
2.3.6	目标位置设定/实时位置显示(编码器模式)	15
2.3.7	波形绘制与参数设定	16
2.4	调试参数页面	18
2.4.1	六步方波开环控制	18
2.4.2	矢量控制开环控制	18
2.4.3	电压控制	19
2.4.4	D 轴电流调试	20
2.4.5	Q 轴电流调试	22
2.4.6	电流环控制	23
2.4.7	速度环控制	24
2.4.8	位置环控制	25

2.4.9	六步方波无传感器相关参数	28
2.4.10	矢量控制无传感器相关参数	29
2.5	自整定页面	30
2.5.1	电机线圈参数自动辨识	30
2.5.1	电流 PI 控制参数自整定	31
3	版本历史	32

表目录

表 1. 波形绘制图按钮功能说明.....	17
表 2. 文档版本历史.....	32

图目录

图 1 电机 PC 监控软件	8
图 2 连接操作说明	9
图 3 状态机显示区	9
图 4 固件控制方法显示区	9
图 5 错误类型显示区	9
图 6 控制命令按钮	11
图 7 控制模式菜单	11
图 8 基本参数设置页面	12
图 9 电压与温度显示区	12
图 10 最大/最小/实时速度显示区	13
图 11 最大/最小速度定义修改	13
图 12 最大/最小电流显示区	13
图 13 电流设置成功 LOG 画面	13
图 14 最大/最小位置显示区	14
图 15 最大/最小速度定义修改	14
图 16 速度控制模式(外部电压控制来源)	14
图 17 转矩控制模式(外部电压控制来源)	15
图 18 软件控制来源设置目标速度	15
图 19 目标位置与实时位置栏位	15
图 20 绘图通道的参数选择	16
图 21 绘图按钮	16
图 22 波形绘制图	16
图 23 控制模式选取开环控制(BLDC)	18
图 24.开环控制相关参数(BLDC)	18
图 25 控制模式选取开环控制(FOC)	19
图 26 开环控制相关参数(FOC)	19
图 27 控制模式选取电压控制	19
图 28 电压控制相关参数	19
图 29 步阶电流示意图	20
图 30 控制模式选取 ID 电流环调试	20

图 31 PID 参数以及步阶电流参数	20
图 32 调整通道监控参数(ID 电流环调试).....	21
图 33 电流环调试波形	21
图 34 Q 轴电流 PID 参数以及步阶电流参数.....	22
图 35 调整通道监控参数(IQ 电流环调试)	22
图 36 目标电流值设置	23
图 37 调整通道监控参数(电流环调试).....	23
图 38 电流环控制波形	23
图 39 PID 参数以及加速度、减速度设置	24
图 40 目标速度值设置	24
图 41 调整信道监控参数(速度环调试).....	24
图 42 速度环调试波形	25
图 43. 目标位置与检测位置值	25
图 44. PID 参数设置	26
图 45. 目标位置值设置	26
图 46. 调整信道监控参数(位置环调试).....	26
图 47. 位置环调试波型	27
图 48 六步方波无感测器调试参数页面(ADC 侦测方法).....	28
图 49 无位置传感器估测相关参数	29
图 50 电压开环启动模式与初始角检测启动模式	30
图 51 对齐启动模式	30
图 52 电机线圈参数自动辨识	31
图 53 电流 PI 控制参数自整定	31

1 硬件与软件环境准备

需要准备硬件环境主要包括 BLDC 电机、AT-Link 或 Jlink 调试下载器和 AT 电机开发板与 AT 电机控制库。

软件环境为电机应用 PC 软件 ArteryMotorMonitor.exe（本软件不需安装，只需直接运行可执行程序）。

1.1 硬件需求

- 一台搭载 Windows® (Windows 8, Windows 10, Windows 11) 个人计算机，以安装用户控制接口程序
- 一条 micro-B USB 线连接开发板与个人计算机，以进行通讯
- 雅特力 AT-Link 下载器或其它第三方下载器
- 一台三相交流电机，额定电压须于 12V~60V 范围，额定电流须小于 30A
- 一台直流电源
- 一片雅特力电机开发板

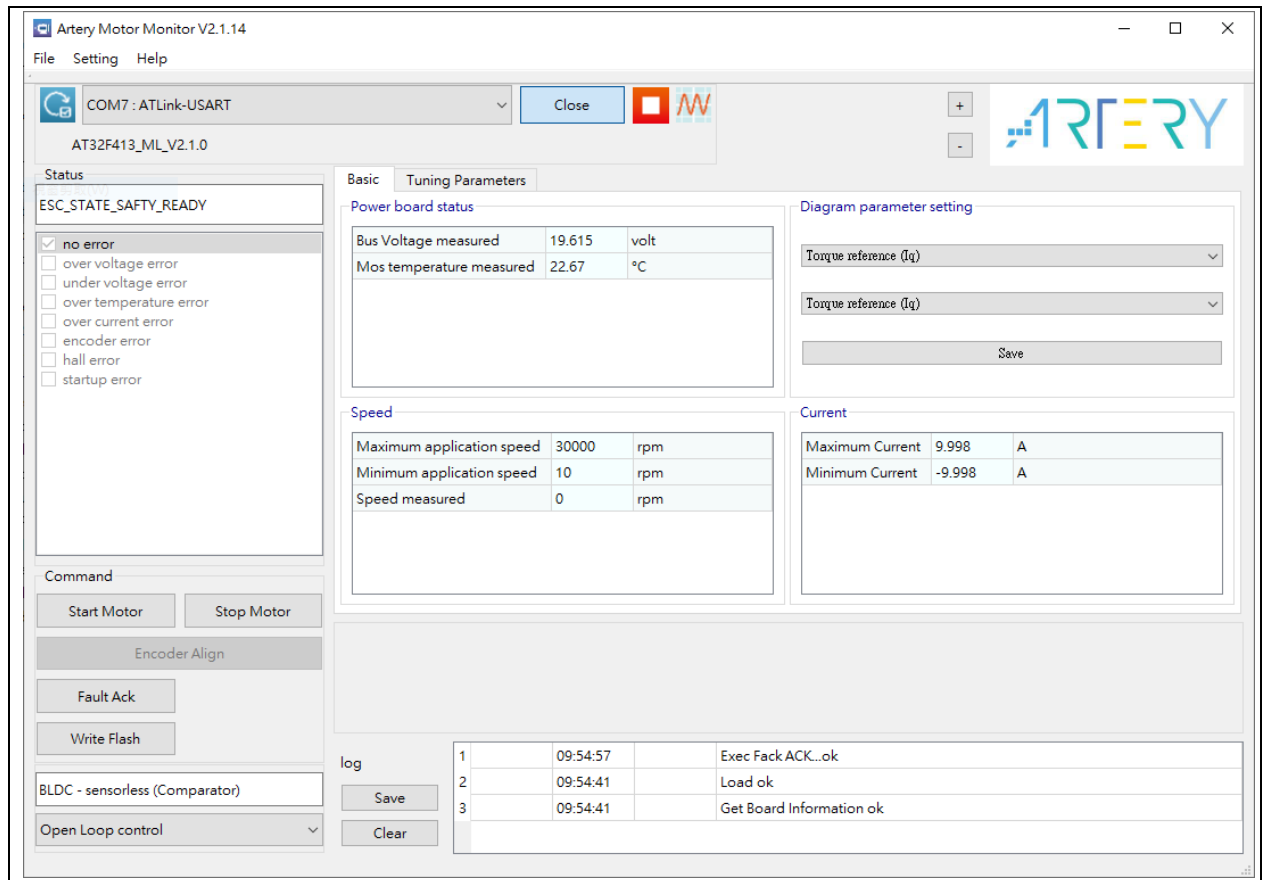
1.2 软件需求

- 雅特力 AT32 电机控制展示项目程序
- Keil® µvision IDE (本范例使用 µvision V5.36.0.0)

2 用户接口操作说明

以下是雅特力 PC 监控软件示意图(图 1)，本文件将会针对不同的功能区块做操作说明。

图 1 电机 PC 监控软件



2.1 建立连接

在确保完成硬件准备和软件环境准备后，我们可以进行以下操作建立 UI 与控制版的连接。

STEP-1

正确将电机、AT_Link/Jlink、开发板电源接到电机开发板上，将 USART 接口同 USB 线接入 PC。

STEP-2

使用 MDK 编译 demo 工程代码，使用 Jlink 或 AT_Link 下载到开发板的芯片中

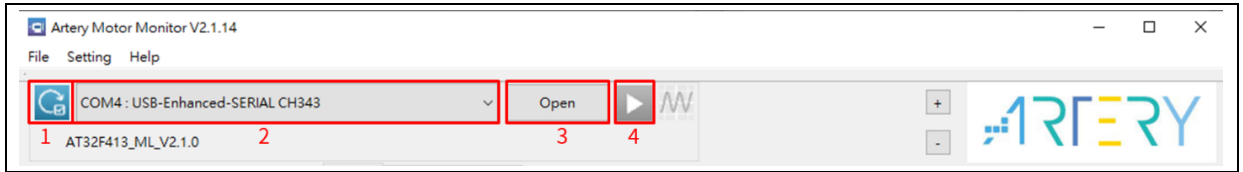
STEP-3

执行程序 ArteryMotorMonitor_V2.1.14.exe(V2.1.14 为软件版本号)，在 File -> Open Project 选项中选择 ArteryMotorMonitor_V2.1.14.atmcx->开启

STEP-4

點選 Serial Port 更新图标(1.)并选取对应的串口号(2.)，选完點選 Open(3.)即可开启串口实时通信，操作步骤如图 2。

图 2 连接操作说明



STEP-5

按下播放键(4.)即可周期性更新 UI 接口的数据以及与目标板通过串口实时通信，如发送启动/停止电机的命令、实时调速、调试电流 PID 参数以及监控参数绘制波形等。

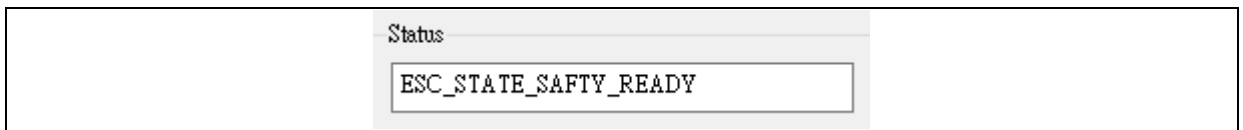
2.2 控制与状态显示列表

此区包含电机控制时的状态机、错误类型的显示区、控制命令的按钮以及控制模式的下拉菜单等与控制相关的操作区，可以进行启动/停止电机、编码器校准、参数写入 Flash 等操作，也可以在此变更控制模式，如开环控制、电压控制、D/Q 轴电流调试、转矩控制、速度控制、位置控制等模式。

2.2.1 状态机显示

显示电机控制程序目前正在运行的状态，状态包含 Idle、Safety ready、Angle init、Starting、Running、Free run、I_tune、Enc_align、**Winding param Id**、**Auto learn** 以及 Error 等。

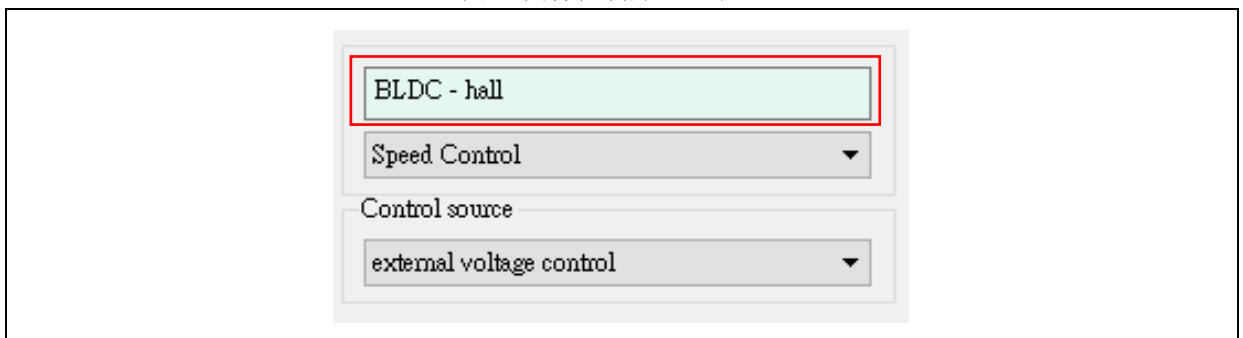
图 3 状态机显示区



2.2.2 固件控制模式显示

显示该固件的控制模式，如图 4，本例为六步方波且搭配霍尔传感器的控制模式。

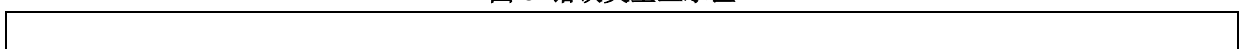
图 4 固件控制方法显示区



2.2.3 错误类型显示

显示电机运转中如有发生错误的错误类型，其中包含过压、欠压、过温、过流、编码器错误、霍尔错误、电机线圈参数辨识错误以及霍尔状态自学习错误等。

图 5 错误类型显示区



<input checked="" type="checkbox"/> no error
<input type="checkbox"/> over voltage error
<input type="checkbox"/> under voltage error
<input type="checkbox"/> over temperature error
<input type="checkbox"/> over current error
<input type="checkbox"/> encoder error
<input type="checkbox"/> hall error
<input type="checkbox"/> parameter identify error
<input type="checkbox"/> hall learn error

2.2.4 控制命令按钮说明

- 1) 本应用软件包含 5 个控制命令的按钮，可以进行启动/停止电机、编码器校准、参数写入闪存、错误解除等操作。

图 6 控制命令按钮

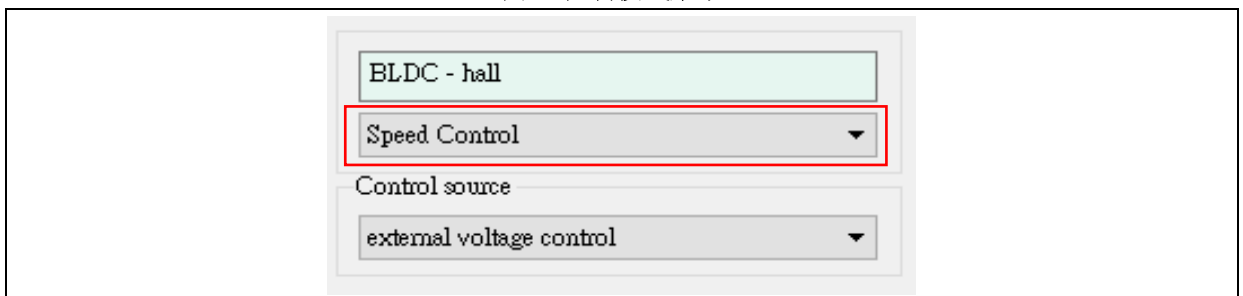


- 2) 启动电机(Start Motor)
按下此按钮即可将电机启动。
- 3) 停止电机(Stop Motor)
按下此按钮即可将电机停止。
- 4) 编码器校准(Encoder Align)
按下此按钮即可进行编码器的零位校准(在 open loop 控制模式下无效)。
- 5) 参数写入闪存(Write Flash)
当参数已调试完成或是要更改电机相关参数时，可按下此按钮将参数写入 Flash，执行此命令后控制器将会记忆该次写入的所有参数，下次上电时不必再重新调试电机参数。
- 6) 错误解除
将目前错误状态清除的按钮。

2.2.5 控制模式下拉菜单

共有七种控制模式可供选择，包含开环控制、电压控制、D/Q 轴电流调试、转矩控制、速度控制、位置控制，不同控制模式下其调试参数页面所显示的参数也会不同，因此此区需搭配调试参数页面使用，章节 2.4 将针对不同控制模式下的调试做详细的说明。

图 7 控制模式菜单



2.3 基本参数页面

基本参数显示/设定的页面，包括 Vdc 电压以及 MOS 温度的监控、电机控制的最大/最小速度、最大/最小电流、最大/最小位置、目标位置、目标速度或目标转矩的设定与显示以及绘图区的通道选择。

图 8 基本参数设置页面

The screenshot shows the 'Basic' tab with 'Tuning Parameters' selected. It contains several data tables and parameter settings:

Power board status		
Bus Voltage measured	23.169	volt
Mos temperature measured	25.22	°C

Diagram parameter setting		
Torque reference (Iq)		▼
Torque reference (Iq)		▼
Save		

Application speed		
Maximum application speed	6500	rpm
Minimum application speed	200	rpm
Speed measured	0	rpm

Current		
Maximum Current	4.999	A
Minimum Current	-4.999	A

Angle		
Max application angle	36000	degree
Min application angle	-36000	degree

Angle		
Position reference	0	degree

Angle		
Position measured	0	degree

2.3.1 电压与温度显示

实时显示板子目前的电压值(单位:Volt)以及 MOS 温度(单位:°C)，可在此监控板子是否有过电压、欠电压或过温的情况，若有错误时也会显示在章节 2.2.3 的错误列表。

图 9 电压与温度显示区

The screenshot shows a 'Power board status' section with the following data:

Power board status		
Bus Voltage measured	2.24615	volt
Mos temperature measured	25.49	°C

2.3.2 最大/最小速度

此为读取电机控制的最大/最小速度以及实时速度，单位为 rpm，本应用接口只有读取的功能，最大/最小速度需在固件进行修改，如需修改可于固件库的 motor_control_drive_param.h 文档中修改 MAX_SPEED_RPM、MIN_SPEED_RPM 定义。

图 10 最大/最小/实时速度显示区

Maximum application speed	4200	rpm
Minimum application speed	10	rpm
Speed measured	0	rpm

图 11 最大/最小速度定义修改

```

63 #define MIN_SPEED_RPM           (10)
64 #define MAX_SPEED_RPM          (4200)
65 #define MIN_CONTROL_SPEED      (120)

```

2.3.3 最大/最小电流

读取以及设定电机控制的最大/最小电流，单位为安培(ampere)，可根据电机特性或驱动板调整控制电流大小，默认为读取固件设定的最大/最小电流值，若需调整在控制模式 ID Tune 或 IQ Tune 模式下可双击栏位更改数值，设定完成可看到下面 LOG 显示设置成功的信息。

图 12 最大/最小电流显示区

Maximum Current	4.98962	A
Minimum Current	0.997925	A

图 13 电流设置成功 LOG 画面

	Time	Motor	Message
1	17:28:59		Set REG 36 = 3932.16:OK
2	17:28:52		Set REG 36 = 3276.8:OK

2.3.4 最大/最小位置 (PMSM 编码器/霍尔模式)

此为读取电机控制的最大/最小位置，单位为 degree，本应用接口只有读取的功能，最大/最小位置需在固件进行修改，如需修改可于固件库的 motor_control_drive_param.h 文档中修改 MAX_POSITION_ANGLE、MIN_POSITION_ANGLE 定义。

图 14 最大/最小位置显示区

Angle		
Max application angle	36000	degree
Min application angle	-36000	degree

图 15 最大/最小速度定义修改

```

56 #define MAX_POSITION_ANGLE          36000 /* Degree */
57 #define MIN_POSITION_ANGLE        (-MAX_POSITION_ANGLE)
    
```

2.3.5 目标速度/转矩设定

根据用户选择不同的控制来源会对应不同的控制参数，若为速度控制模式时则会显示目标速度的控制栏位，如图 16，若选择转矩控制则会有目标转矩电流的控制栏位，如图 17。

目标速度的单位为 rpm，目标转矩的单位为安培(ampere)，本应用软件分两种控制来源，包含外部来源控制以及软件控制。

1) 外部电压控制来源

本应用软件也支持外部来源控制，在来源选择的下拉菜单中若选择 external voltage control 则可以切换到外部来源控制，可通过外部的电压调整速度或转矩的大小，目标速度或目标转矩的栏位将会显示目前控制电压下所换算的控制速度或转矩大小。

注意：外部来源控制模式下本栏位不可修改。

图 16 速度控制模式(外部电压控制来源)

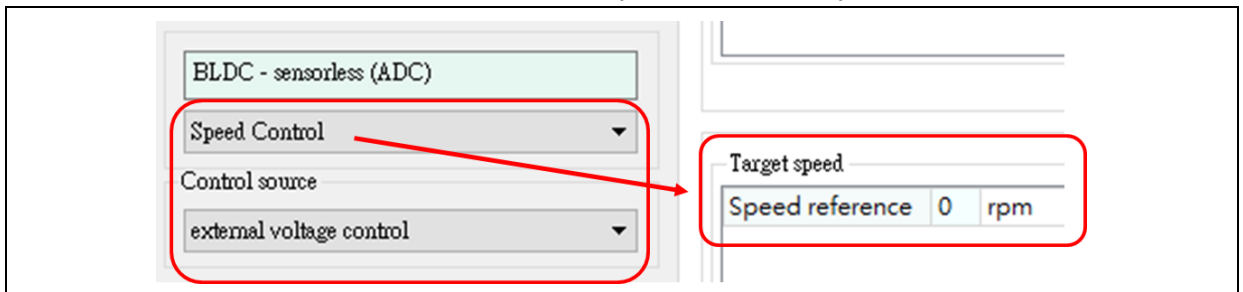
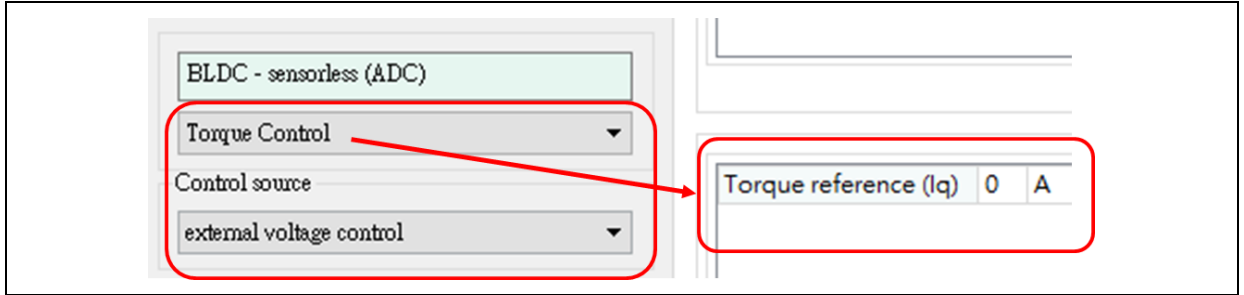


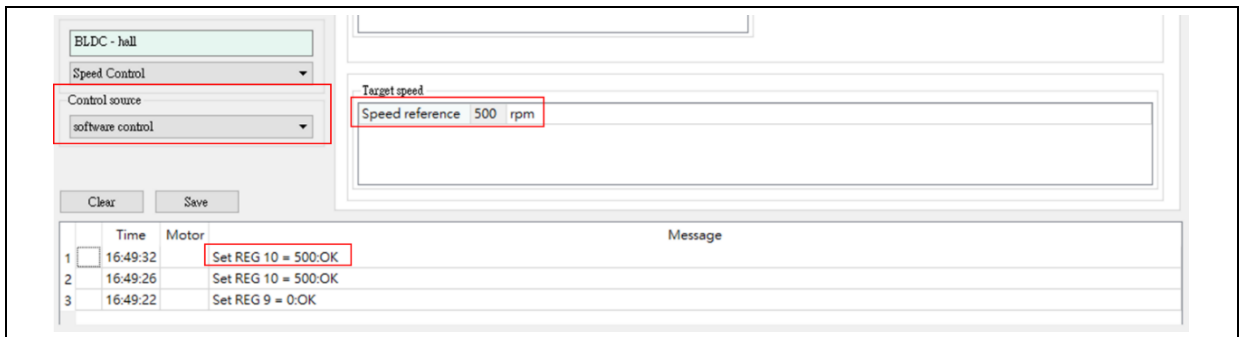
图 17 转矩控制模式(外部电压控制来源)



2) 软件控制来源

默认为软件控制模式，来源选择的下拉菜单中选择 **Software control** 也可切换至软件控制模式，如图 18，在此模式下通过修改 UI 接口的目标速度/转矩来调整电机控制的速度/转矩大小，双击此栏位即可修改数值，设定完成可看到下面栏位显示设置成功的信息。

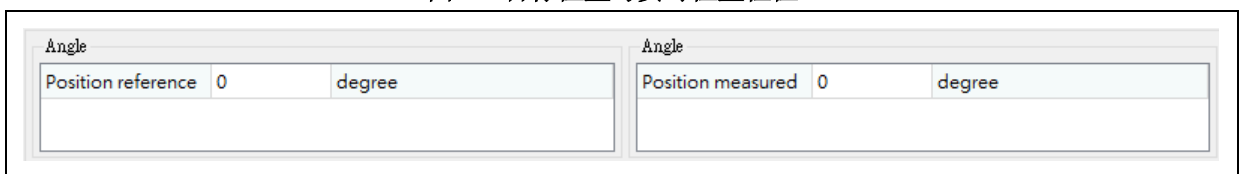
图 18 软件控制来源设置目标速度



2.3.6 目标位置设定/实时位置显示(编码器模式)

用户选择位置控制模式时会显示目标位置的控制栏位以及实时位置显示栏位，如图 19 所示。目标位置(Position reference)的单位为 degree，在此模式下通过修改 UI 接口的目标位置来调整电机转子的位置，双击此栏位即可修改数值，设定完成则显示设置成功的信息。

图 19 目标位置与实时位置栏位



2.3.7 波形绘制与参数设定

本应用提供双通道的波形绘制，如图 20 所示，下拉菜单 1 为通道 1 的参数选择，下拉菜单 2 为通道 2 的参数选择，选择完参数后须按下 Save 按钮。显示波形则需按下绘图按钮如图 21 并产生新的窗口进行波形绘制。

图 20 绘图通道的参数选择

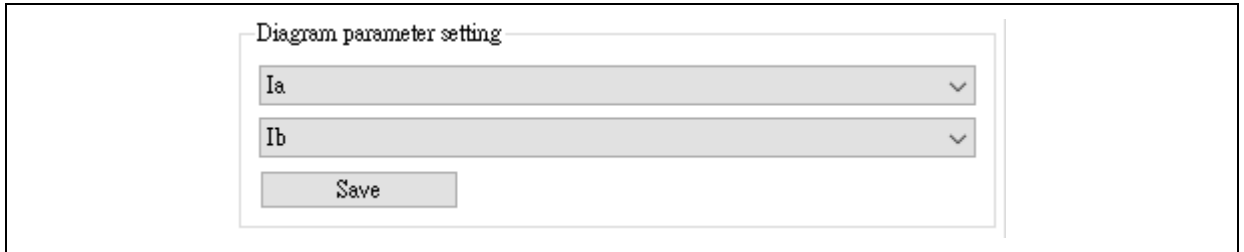
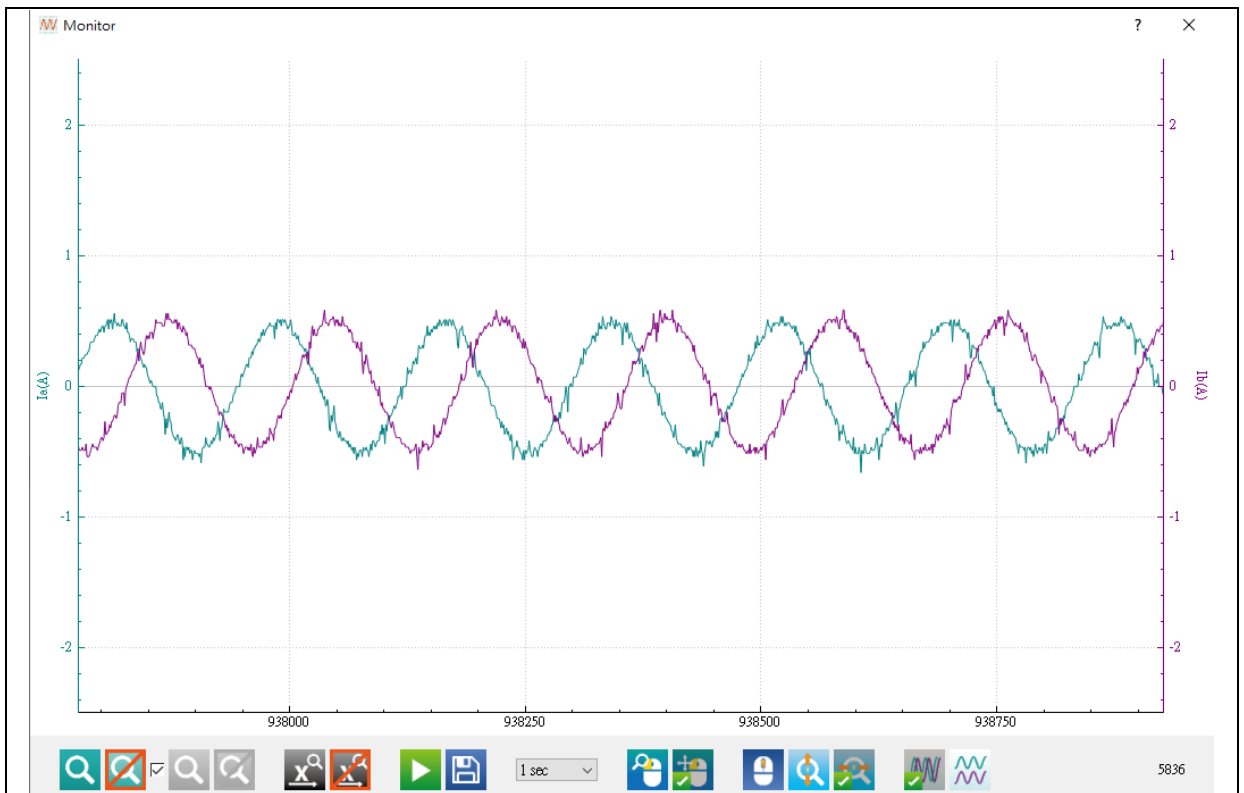


图 21 绘图按钮



波形绘制图如图 22 所示，窗口左边纵轴为通道 1 的坐标轴，右边则为通道 2，单位皆显示于坐标轴上，波形颜色与坐标轴相同，例如：通道 1 为 Ia，单位安培(A)，波形颜色为绿色；通道 2 为 Ib，单位安培(A)，波形颜色为紫色。此外，波形的取样率与 PWM 中断频率有关，例如若 PWM 中断频率为 20k Hz，则取样率为 50 us/次，最长可记录 32 秒时间。

图 22 波形绘制图



波形绘制图的按钮功能说明如表 1 所示。

表 1. 波形绘制图按钮功能说明

图示	功能说明
	设定通道1纵轴坐标显示范围
	取消放大(通道1纵轴坐标)
	设定通道2纵轴坐标显示范围
	取消放大(通道2纵轴坐标)
	同步信道1以及信道2坐标
	取消同步信道1以及信道2坐标
	设定横轴坐标显示范围
	取消横轴放大
	开始更新波形显示
	暂停更新波形显示
	储存窗口波形图 (暂停更新波形显示后)
	波形横轴坐标显示范围(下拉式菜单: 可选择1、2、4、8、16、32秒)
	点击鼠标右键可放大显示
	点击鼠标右键可上下左右移动显示
	切换滑动鼠标滚轮功能(放大缩小或横纵轴移动)
	滑动鼠标滚轮横纵轴可同时放大缩小
	滑动鼠标滚轮纵轴可放大缩小
	滑动鼠标滚轮横轴可放大缩小
	滑动鼠标滚轮不动作
	滑动鼠标滚轮横纵轴可同时移动
	滑动鼠标滚轮可移动纵轴
	滑动鼠标滚轮可移动横轴
	滑动鼠标滚轮不动作
	信道1以及信道2波形显示在同一视窗上
	信道1以及信道2波形显示在不同视窗上

2.4 调试参数页面

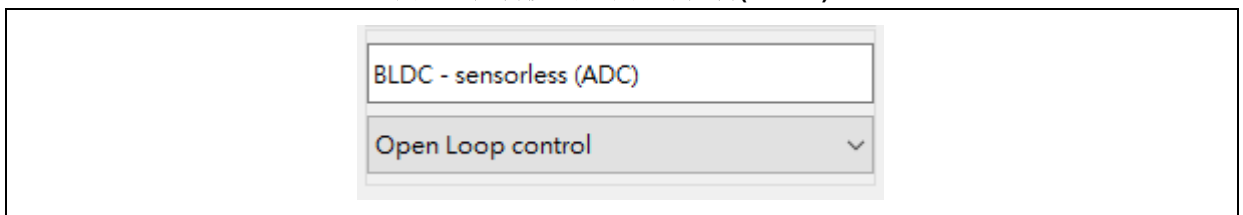
进阶调试参数设定页面，根据章节 2.2.5 控制模式对应不同的调试参数，可在此页面修改参数的数值，并可以启动电机以确认响应或是点选绘图功能查看调试后的响应波形图，详细绘图操作详见章节 2.3.7。

2.4.1 六步方波开环控制

此模式使用开环电压控制模式，不需位置传感器即可转动电机，用来确认电机是否可正常运转与运转方向是否正确或用来调整 BLDC 无传感器开环启动参数。开环电压与速度递增量的调试方式可视电机运转速度与电机相电流大小调整。

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 Open Loop control

图 23 控制模式选取开环控制(BLDC)



STEP-2. 调整初始电压(OpenLoop initial voltage)、初始速度(OpenLoop initial speed)、最终速度(OpenLoop final speed)以及递增电压(OpenLoop increase volt)、递增次数(OpenLoop times)。

图 24.开环控制相关参数(BLDC)

Basic		Tuning Parameters	
Open Loop Control			
OpenLoop initial voltage	0.776	V	
OpenLoop initial speed	215	rpm	
OpenLoop increase volt	0.048	V	
OpenLoop final speed	350	rpm	
OpenLoop times	5		

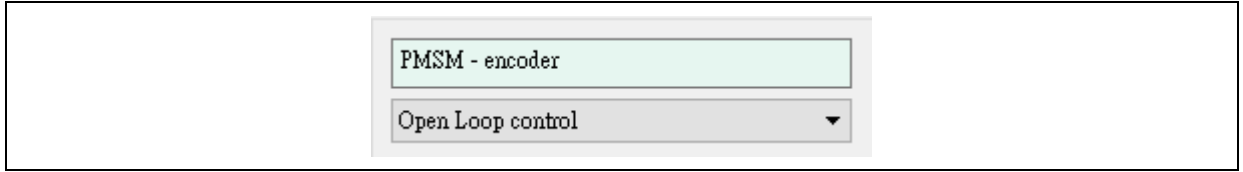
STEP-3. 按下启动电机(Start Motor)按钮，观察相电流大小以及电机运转情况，直到电机正常运转。(开环电压避免过大以免造成电机过热损毁)

2.4.2 矢量控制开环控制

此模式使用开环电压控制模式，不需位置传感器即可转动电机，用来确认电机是否可正常运转与运转方向是否正确。编码器亦可用来确认编码器模式的转向是否正确，而在 FOC 无传感器模式下则可使用此模式初步调试估测器的参数。开环电压与角度增加量的调试方式可视电机运转速度与电机相电流大小由 0 开始慢慢往上加。

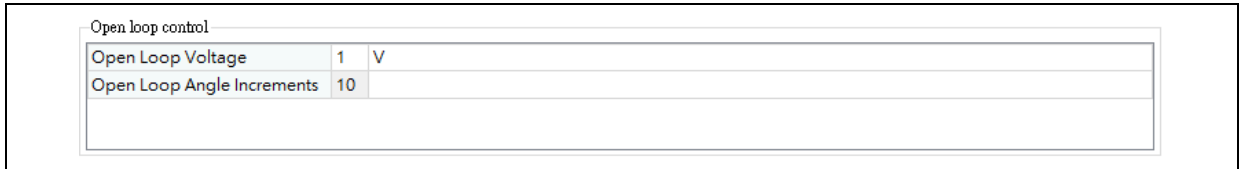
STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 Open Loop control

图 25 控制模式选取开环控制(FOC)



STEP-2. 将开环电压(Open Loop Voltage)与角度增量(Open Loop Angle Increments)慢慢增加并观察相电流大小，直到电机顺滑运转。(开环电压避免过大以免造成电机过热损毁)

图 26 开环控制相关参数(FOC)

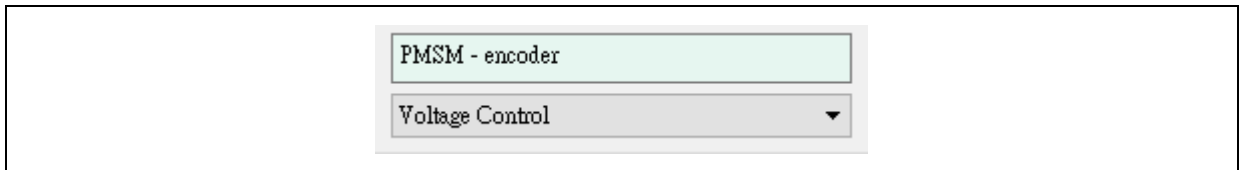


2.4.3 电压控制

此模式基于位置传感器下使用电压控制模式可控制电机 D 轴与 Q 轴电压。

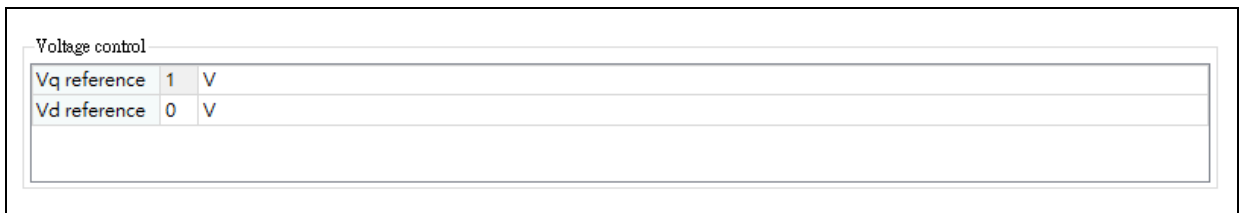
STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 Voltage Control

图 27 控制模式选取电压控制



STEP-2. 控制 Q 轴电压可使电机运转，而控制 D 轴电压可将电机磁极定位在 D 轴

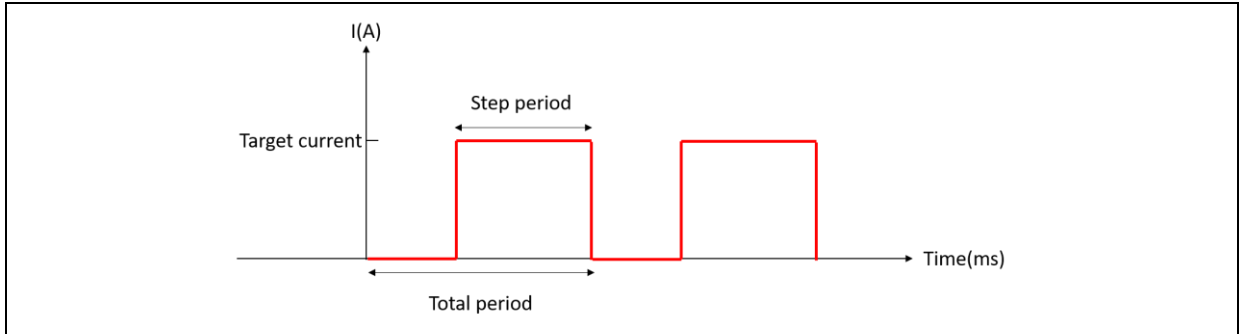
图 28 电压控制相关参数



2.4.4 D 轴电流调试

此模式下会产生一个步阶的电流，如图 29，可以调整步阶电流的相关参数，产生步阶电流的目的是为了查看调整 D 轴电流的 PID 电流环参数后的电流响应。

图 29 步阶电流示意图



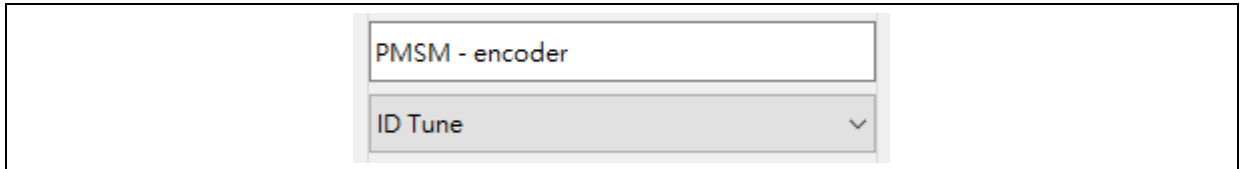
注：1. 六步方波控制无 D 轴电流调试功能，因此无此页面。

2. 矢量控制模式建议先调适 D 轴电流再调适 Q 轴电流，在调适电流之前先将 D 轴与 Q 轴电流的 KP 与 KI 设置为 0，避免不匹配的默认值影响电流参数调适。

详细操作步骤如下：

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 ID tune

图 30 控制模式选取 ID 电流环调试



STEP-2. 设置 PID 参数以及步阶电流参数，如图 31

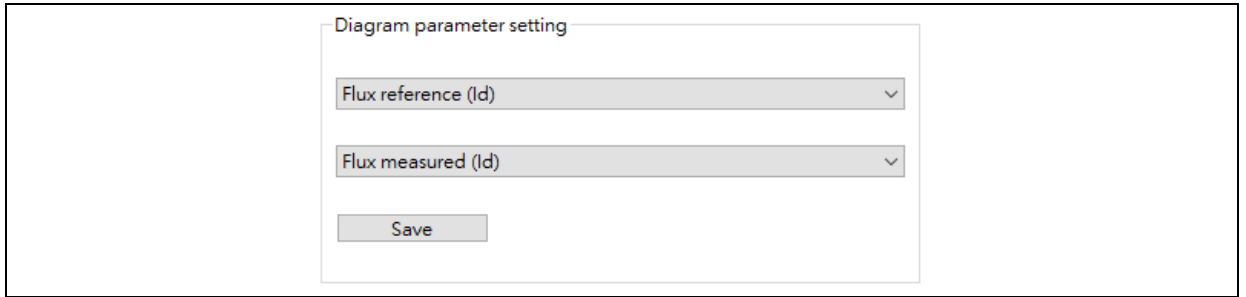
图 31 PID 参数以及步阶电流参数

Basic		Tuning Parameters	
Unit step config			
Current Tune target current	0.999	A	
Current Tune total period	100	ms	
Current Tune step period	2	ms	
ID Current control			
Flux KP	25000		
Flux KI	3000		
Flux KP DIV	2048		
Flux KI DIV	4096		

STEP-3. 按下启动电机(Start Motor)按钮

STEP-4. 调整绘图区的参数监控为 Flux reference(Id)以及 Flux measured(Id)并按下 Save 键

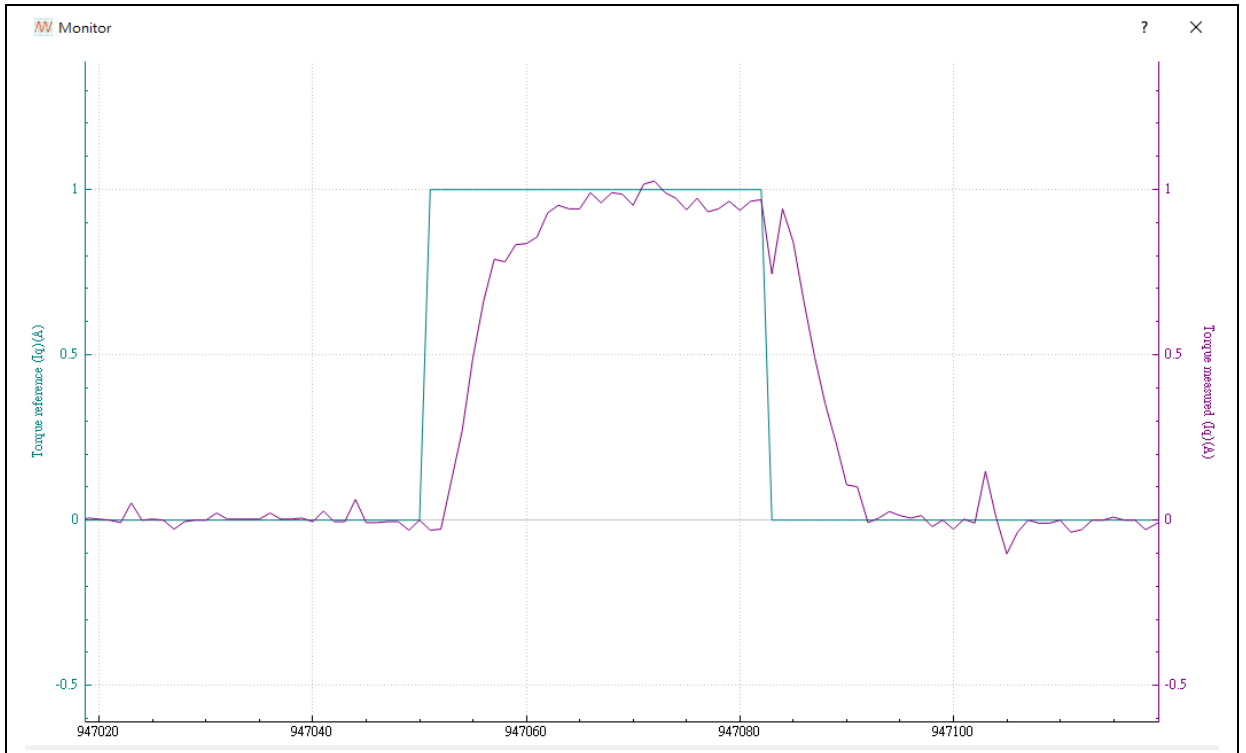
图 32 调整通道监控参数(ID 电流环调试)



STEP-5. 点选绘图按钮即可呼叫出波形窗口

STEP-6. 查看电流响应是否如预期，如图 33，若不如预期则按下停止电机，并重复 STEP-2~STEP-6

图 33 电流环调试波形



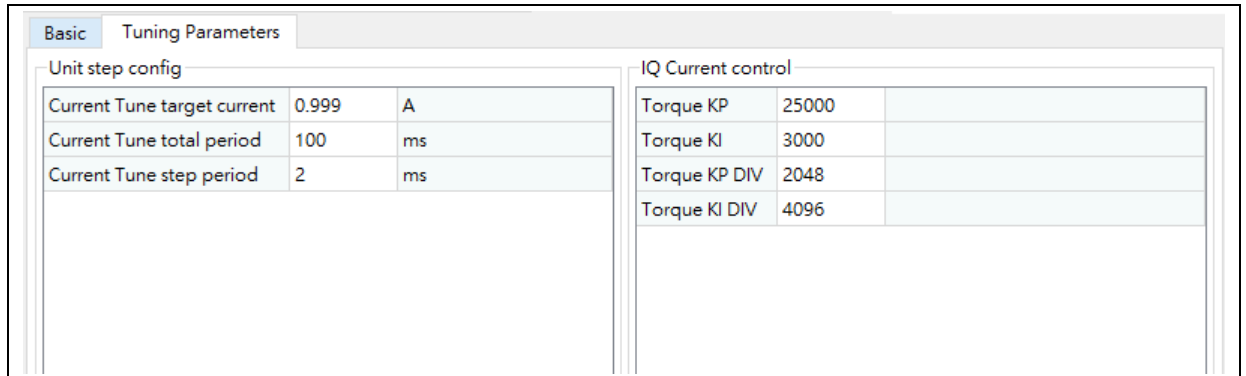
2.4.5 Q 轴电流调试

此模式下会产生一个步阶的电流，如图 29，可以调整步阶电流的相关参数，产生步阶电流的目的是为了查看调整 Q 轴电流的 PID 电流环参数后的电流响应，详细操作步骤如下：

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 IQ tune

STEP-2. 设置 PID 参数以及步阶电流参数

图 34 Q 轴电流 PID 参数以及步阶电流参数



Unit step config		
Current Tune target current	0.999	A
Current Tune total period	100	ms
Current Tune step period	2	ms

IQ Current control		
Torque KP	25000	
Torque KI	3000	
Torque KP DIV	2048	
Torque KI DIV	4096	

STEP-3. 按下启动电机按钮

STEP-4. 调整绘图区的参数监控为 Torque reference(Iq)以及 Torque measured(Iq)并按下 Save 键

图 35 调整通道监控参数(IQ 电流环调试)

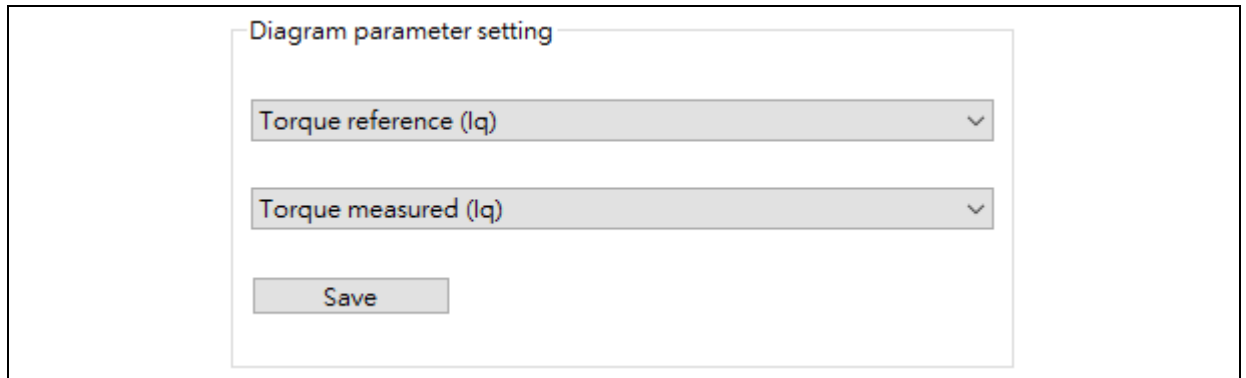


Diagram parameter setting

Torque reference (Iq) ▼

Torque measured (Iq) ▼

Save

STEP-5. 点选绘图按钮即可呼叫出波形窗口

STEP-6. 查看电流响应是否如预期，如图 33，若不如预期则按下停止电机，并重复 STEP-2~STEP-6

2.4.6 电流环控制

此模式下可调控目标电流来达到转矩控制，亦可由波形绘制查看响应，详细操作步骤如下：

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 Torque Control

STEP-2. 设置 Control source 为 software control 及目标电流参考值(Torque reference)

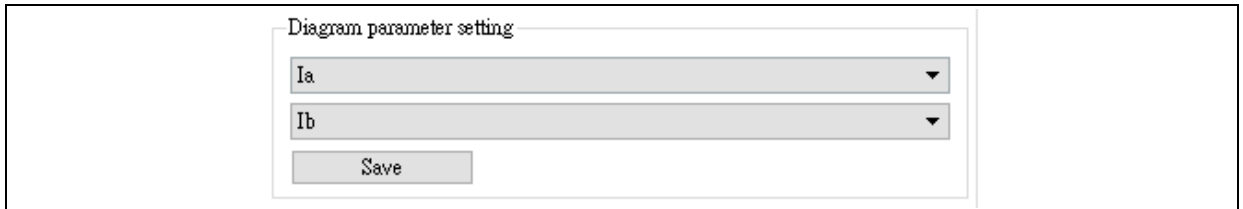
图 36 目标电流值设置

Torque reference (Iq)	0.100	A
Flux reference (Id)	0.000	A

STEP-3. 按下启动电机(Start Motor)按钮

STEP-4. 调整绘图区的参数监控为 Ia 以及 Ib 后按下 Save 按钮。

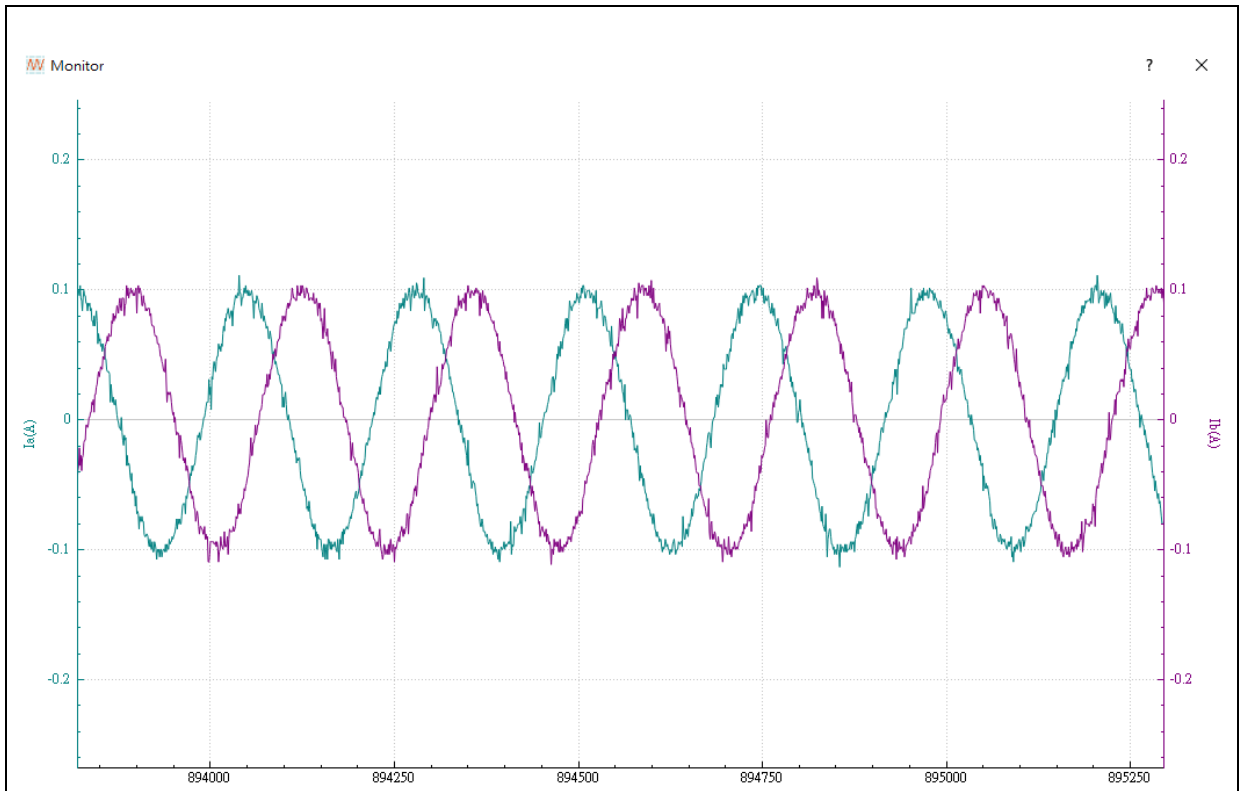
图 37 调整通道监控参数(电流环调试)



STEP-5. 点选绘图按钮即可呼叫出波形窗口

STEP-6. 查看电流波形是否如预期，如图 38

图 38 电流环控制波形



2.4.7 速度环控制

此模式下可调控的参数有速度环的 PID 参数以及加速度、减速度，调整完成后亦可由波形绘制查看响应，详细操作步骤如下：

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 Speed Control

STEP-2. 设置速度 PID 参数以及加速度、减速度

图 39 PID 参数以及加速度、减速度设置

Speed control		
Speed KP	1000	
Speed KI	4	
Speed KP DIV	1024	
Speed KI DIV	1024	
Speed acceleration	8	rpm/ms
Speed deceleration	8	rpm/ms

STEP-3. 设置 Control source 为 software control 及目标转速参考值(Speed reference)

图 40 目标速度值设置

Target speed		
Speed reference	0	rpm

STEP-4. 按下启动电机(Start Motor)按钮

STEP-5. 调整绘图区的参数监控为 Speed reference(PU)以及 Speed measured(PU) 后按下 Save 按钮。

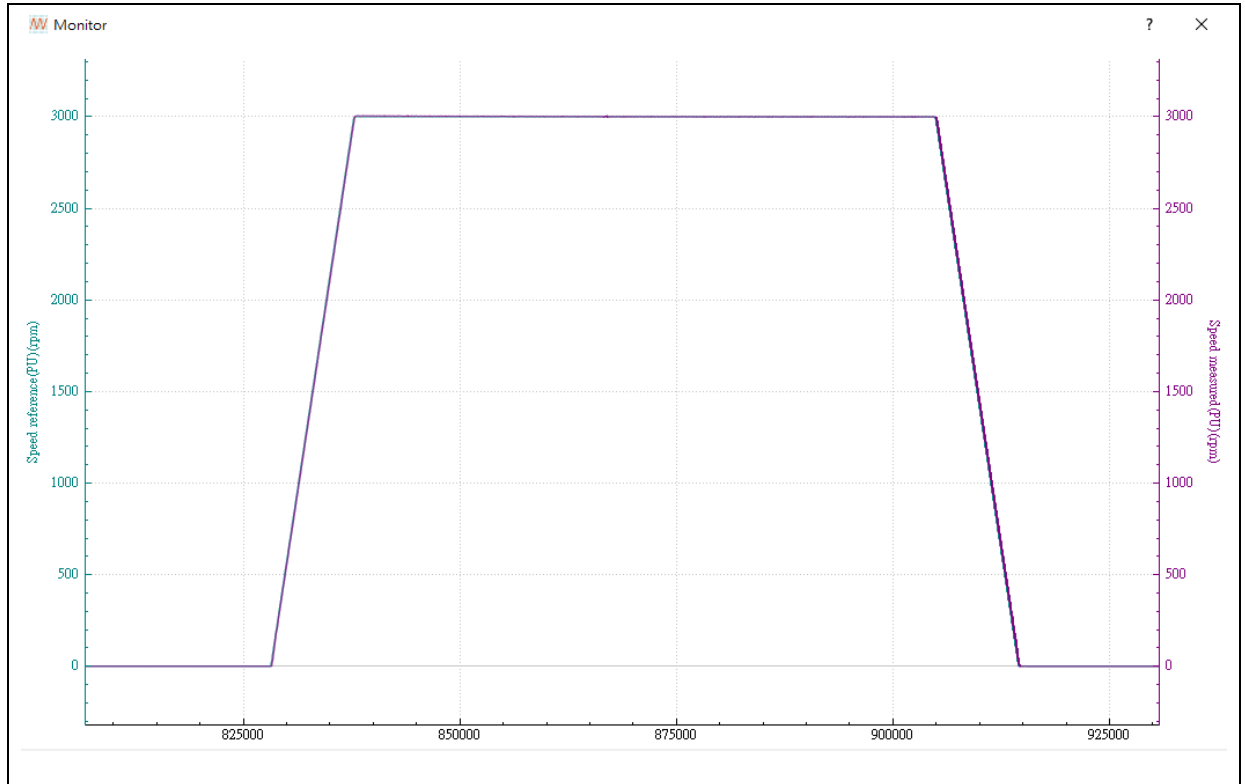
图 41 调整信道监控参数(速度环调试)

Diagram parameter setting	
Speed reference(PU)	▼
Speed measured(PU)	▼
Save	

STEP-6. 点选绘图按钮即可呼叫出波形窗口

STEP-7. 查看速度响应是否如预期，如图 42，若不如预期则按下停止电机，并重复 STEP-2~STEP-7

图 42 速度环调试波形



2.4.8 位置环控制

此模式下可调的参数有位置环的 PID 参数，调整完成后亦可由波形绘制查看响应，详细操作步骤如下：

STEP-1. 将控制模式下拉菜单选为 **Position Control**，由于编码器经过校正后，电机转动后的角度通常不会刚好停在位置零度，此时位置命令与检测的位置均为电机转动后的角度。

图 43. 目标位置与检测位置值



STEP-2. 设置位置 PID 参数

图 44. PID 参数设置

Position controller		
Position KP	2000	
Position KI	1	
Position KI stable	800	
Position KD	100	
Position KP DIV	4096	
Position KI DIV	65536	
Position KD DIV	32	

STEP-3. 设置目标位置参考值(Position reference), 如 3600 degree

图 45. 目标位置值设置

Angle		
Position reference	0	degree

STEP-4. 按下启动电机(Start Motor)按钮

STEP-5. 调整绘图区的参数监控为 Position reference(PU)以及 Position measured(PU)后按下 Save 按钮。

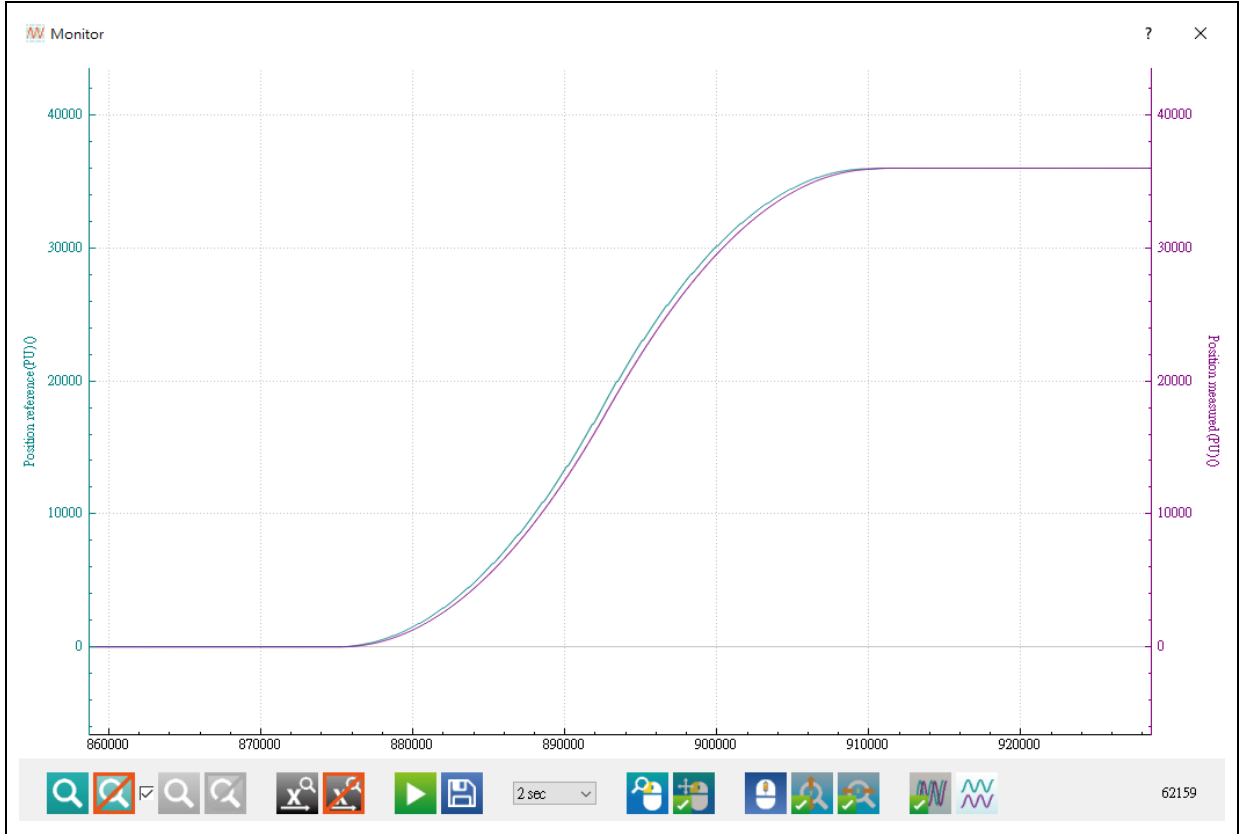
图 46. 调整信道监控参数(位置环调试)

Diagram parameter setting	
Position reference(PU)	▼
Position measured(PU)	▼
Save	

STEP-6. 点选绘图按钮即可呼叫出波形窗口

STEP-7. 查看位置响应是否如预期, 如图 47, 若不如预期则按下停止电机, 并重复 STEP-2~STEP-7

图 47. 位置环调试波型



2.4.9 六步方波无传感器相关参数

有别于有传感器的控制，无传感器的控制需要通过侦测反电势来推估转子的位置，且启动时须根据不同的电机调试适当的启动电流、启动电压以及启动周期，因此本接口应用程序提供下列参数的设定，如图 48 所示，包含 Start Current、Start Voltage 以及 Start Period。

若用 ADC 侦测反电势换相的方法则还有 EMF low speed offset(rising)、EMF low speed offset(falling)、EMF high speed offset(rising)、EMF high speed offset(falling)可调整。

图 48 六步方波无感测器调试参数页面(ADC 侦测方法)

Sensor-less control(six-step)		
Start Current	0.799	A
Start Voltage	0.087	V
Start Period	4000	us
EMF low speed offset(Rising)	80	
EMF low speed offset(Falling)	200	
EMF high speed offset(Rising)	700	
EMF high speed offset(Falling)	1300	

1. Start Current (择一设置)

a) 初始电流设置，为无传感器控制时启动的初始电流值，单位为安培(ampere)。

b) 初始电压设置，为无传感器控制时启动的初始电压值，单位为伏特(voltage)。

*根据采用定电流启动或定电压启动择一设置

2. Start Period

初始周期设置，为给定初始电流的时间周期长度，单位为 us。

3. EMF low speed offset(rising)、EMF low speed offset(falling)

为在低速时的反电势零交越点侦测的位准，正缘的零交越点为 rising、负缘的零交越点为 falling，因不同的感测电路或电机特性需要做微调，本例的 rising 值为 80、falling 值为 200。

4. EMF high speed offset(rising)、EMF high speed offset(falling)

为在高速时的反电势零交越点侦测的位准，正缘的零交越点为 rising、负缘的零交越点为 falling，因不同的感测电路或电机特性需要做微调，本例的 rising 值为 700、falling 值为 1300。

2.4.10 矢量控制无传感器相关参数

有别于有位置传感器的控制，无位置传感器的控制需要通过检测反电动势来推估转子的位置，AT 电机库使用龙伯格估测器(Luenberger observer)与 Q-PLL 方法进行反电动势估测。调试参数如图 49 所示，可使用开环控制转动电机进而初步调试估测器参数。

图 49 无位置传感器估测相关参数

Sensor-less observer+PLL	
Observer C1	15000
Observer C2	-20000
PLL KP	5000
PLL KI	5
PLL KP DIV	32768
PLL KI DIV	32768

此外，AT 电机库提供了三种不同的启动方式：电压开环启动、对齐启动与初始角度检测启动模式，各别参数分别如图 50 与图 51 所示。包含 Startup Max. Speed、Startup Open Loop Slope、Startup Align Time、Startup Start Time、Startup Start Current 可调整。分别说明如下：

- 1. Startup Max. Speed**
电机启动期间时进入闭环前的开环最高速度，单位为 rpm。
- 2. Startup Open Loop Slope**
电机启动期间时进入闭环前在开环的电机加速度，单位为 rpm/s。
- 3. Startup Align Time**
电机启动期间时转子对齐时间，单位为 ms。
- 4. Startup Start Time**
电机启动期间时对齐完成后进入闭环前的启动时间，单位为 ms。
- 5. Startup Start Current**
电机启动期间开环或对齐启动电流，单位为 ampere。

图 50 电压开环启动模式与初始角检测启动模式

Start up		
Startup Max. Speed	400	rpm
Startup Start Current	0.499	A
Startup Open Loop Slope	800	rpm/s

图 51 对齐启动模式

Start up		
Startup Max. Speed	400	rpm
Startup Start Current	0.499	A
Startup Align Time	1000	ms
Satrtup Start Time	10	ms

2.5 自整定页面

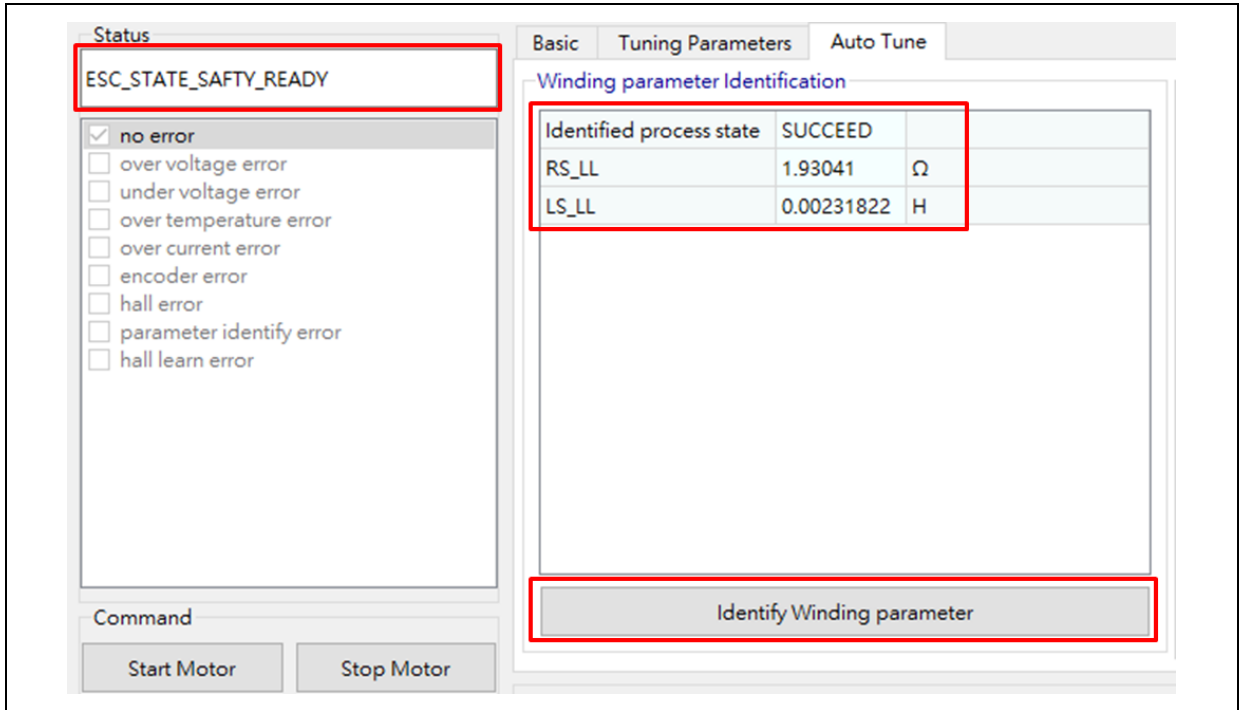
自动整定设定页面主要功能是电机线圈参数自动辨识以及电流 PI 控制参数自整定。在 `motor_control_drive_param.h` 文件中需定义宏 `MOTOR_PARAM_IDENTIFY` 才支持电机线圈参数自动辨识功能。此外，更换电机时需填入对应电机的规格参数于 `motor_control_drive_param.h` 文件 (如: `POLE_PAIRS`、`RS_LL`(注[1])、`LS_LL`(注[1])、`NOMINAL_CURRENT`、`VDC_RATED`、`MAX_CURRENT`、`MAX_SPEED_RPM`...等参数，参数详细说明请参照 AN0064 文档)并重新编译烧录代码。

注[1]. 电机若无此数据可由章节 2.5.1 电机线圈参数自动辨识获得。

2.5.1 电机线圈参数自动辨识

此模式不限于任何控制模式皆适用，在状态机的状态为 `safty ready` 时按下 `Identify Winding parameter` 按钮即执行电机线圈参数自动辨识，由 `Identified process state` 回报是否成功(SUCCEED)并获得 `RS_LL` 以及 `LS_LL` 参数并将数值填入 `motor_control_drive_param.h` 文件宏定义 `RS_LL` 以及 `LS_LL` 参数。(若有电机 `RS_LL` 以及 `LS_LL` 规格参数可不必执行章节 2.5.1)

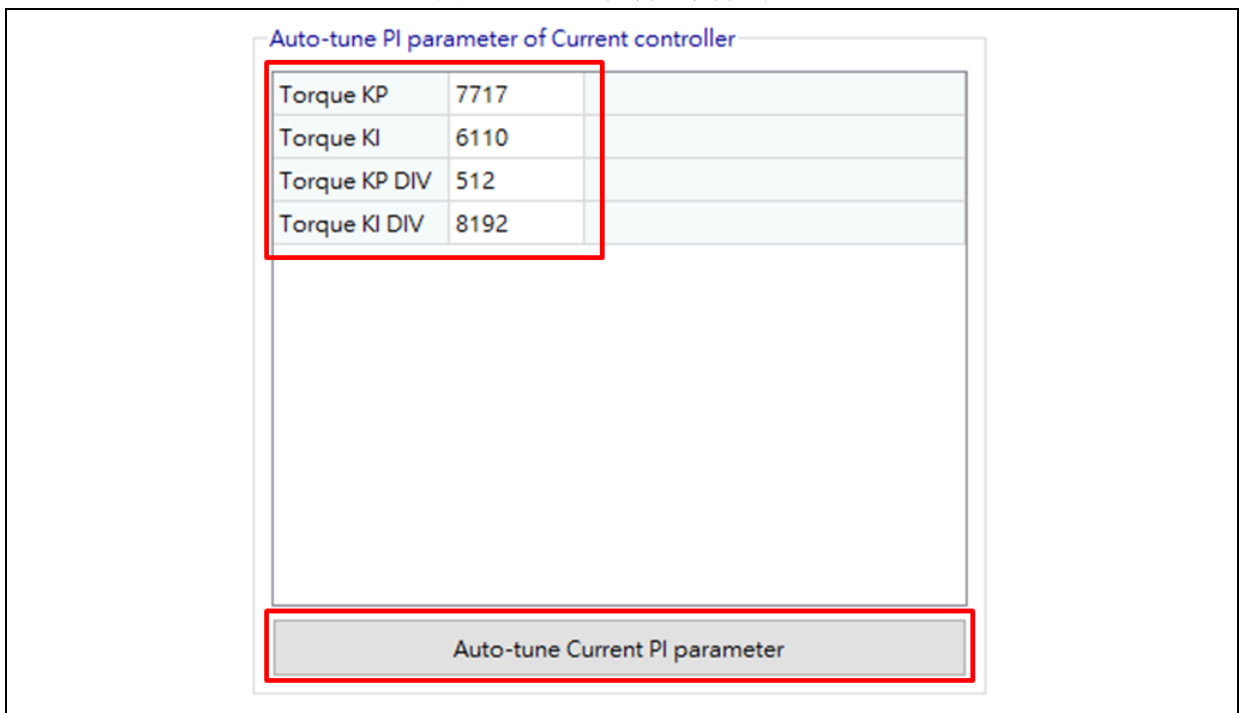
图 52 电机线圈参数自动辨识



2.5.1 电流 PI 控制参数自整定

此模式亦不限于任何控制模式皆适用，在状态机的状态为 **safty ready** 时按下 **Auto-tune Current PI parameter** 按钮即执行电流 PI 控制参数自整定，完成后会自动更新 Q 轴以及 D 轴电流的 PI 控制参数。

图 53 电流 PI 控制参数自整定



3 版本历史

表 2. 文档版本历史

日期	版本	变更
2022.11.18	2.0.1	初始版本
2022.12.01	2.0.2	语句修正
2023.01.06	2.0.3	新增电流环控制说明、新增矢量控制无传感器相关参数
2023.03.02	2.0.4	修改六步方波控制无传感器相关参数
2023.04.20	2.1.0	更新新版上位机使用说明、新增位置环控制说明
2023.10.05	2.1.1	更新使用说明
2024.02.29	2.1.2	新增电机线圈参数自动辨识以及电流PI控制参数自整定使用说明

重要通知 - 请仔细阅读

买方自行负责对本文所述雅特力产品和服务的选择和使用，雅特力概不承担与选择或使用本文所述雅特力产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为雅特力授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在雅特力的销售条款中另有说明，否则，雅特力对雅特力产品的使用和 / 或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途（及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况），或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

雅特力产品并非设计或专门用于下列用途的产品：（A）对安全性有特别要求的应用，例如：生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；（B）航空应用；（C）航天应用或航天环境；（D）武器，且/或（E）其他可能导致人身伤害、死亡及财产损失的应用。如果采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向雅特力发出了书面通知，风险及法律责任仍将由采购商单独承担，且采购商应独力负责在前述应用中满足所有法律和法规要求。

经销的雅特力产品如有不同于本文档中提出的声明和 / 或技术特点的规定，将立即导致雅特力针对本文所述雅特力产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大雅特力的任何责任。

© 2024 雅特力科技 保留所有权利