



Venkata Pavan Mahankali  
Aaron Barrera

## 摘要

本调优指南提供了设置 MSPM0 MCU 和支持的 DRV 硬件板以及对三相无刷直流电机进行调优的分步指导。

## 内容

1 引言	4
2 硬件设置	4
2.1 EVM 硬件设置	5
2.2 IPD 使用的引脚配置	5
2.3 PWM 输出的引脚配置	6
2.4 ADC 电流的引脚配置	6
2.5 ADC 电压的引脚配置	7
2.6 有关故障的引脚配置	7
2.7 GPIO 输出功能的引脚配置	8
2.8 SPI 通信的引脚配置	8
2.9 UART 通信的引脚配置	8
2.10 评估板的外部连接	9
3 软件设置	11
3.1 软件支持	11
4 GUI 设置	11
5 寄存器映射	12
5.1 用户控制寄存器 ( 基址 = 0x202000C8h )	12
5.2 用户输入寄存器 ( 基址 = 0x20200000h )	14
6 基本调优	40
6.1 系统配置参数	40
6.2 基本电机旋转的控制配置	42
6.3 故障处理	48
7 高级调优	49
7.1 控制配置调优	49
7.2 硬件配置	53
8 修订历史记录	54

## 插图清单

图 1-1. MSPM0Gxxx + BLDC 电机驱动器的简化原理图	4
图 2-1. MSPM0Gxxx + BLDC 电机驱动器 - 无传感器 FOC 方框图	5
图 2-2. CSA 输出滤波器	6
图 2-3. ADC 分压器	7
图 2-4. MSPM0 LaunchPad 套件和 DRV83xx EVM 外部配置	9
图 2-5. LP-MSPM0G3507 反向通道连接到 UART3	10
图 6-1. GUI 系统参数配置	40
图 6-2. 电阻测量	40
图 6-3. 电感测量	41
图 6-4. 寄存器映射 GUI 页面	43

图 6-5. 在 GUI 中禁用 ISD.....	43
图 6-6. GUI 中的电机启动.....	44
图 6-7. 在 GUI 中设置禁用闭环.....	44
图 6-8. 在 GUI 中禁用电流环路.....	45
图 6-9. GUI “Motor Tuning” 页面中的 PI 环路调优.....	46
图 6-10. 通过 GUI 设置速度输入.....	47
图 6-11. 从 GUI 读取故障状态.....	47
图 7-1. 反向驱动功能.....	49
图 7-2. 禁用 AVS 时的电源电压和相电流波形.....	52
图 7-3. 启用 AVS 时的电源电压和相电流波形.....	52

## 表格清单

表 2-1. 使用 MSPM0 进行无传感器 FOC 时支持的硬件.....	5
表 2-2. IPD 的引脚配置.....	6
表 2-3. PWM 输出的引脚配置.....	6
表 2-4. DRV8316 中采用同步采样的 ADC 电流的引脚配置.....	6
表 2-5. DRV8323 中不采用同步采样的 ADC 电流的引脚配置.....	7
表 2-6. ADC 相电压的引脚配置.....	7
表 2-7. 用于 DRV8316 的 ADC 直流母线电压检测的引脚配置.....	7
表 2-8. 用于 DRV8323 的 ADC 直流母线电压检测的引脚配置.....	7
表 2-9. 有关故障的引脚配置.....	8
表 2-10. SPI 连接的引脚配置.....	8
表 2-11. UART 连接的引脚配置.....	9
表 3-1. FOC 控制的软件支持.....	11
表 4-1. GUI 连接类型.....	11
表 5-1. 用户控制寄存器.....	12
表 5-2. 寄存器配置访问类型代码.....	12
表 5-3. SPEED_CTRL 寄存器字段说明.....	12
表 5-4. 算法调试控制 1 寄存器字段说明.....	12
表 5-5. 算法调试控制 2 寄存器字段说明.....	13
表 5-6. 用户输入寄存器.....	14
表 5-7. 寄存器配置访问类型代码.....	14
表 5-8. 电机电阻配置寄存器 ( 偏移 = 4h ) .....	15
表 5-9. 电机电感配置 ( 偏移 = 8h ) .....	15
表 5-10. 电机 BEMF 常数配置 ( 偏移 = 8h ) .....	15
表 5-11. 基极电压配置 ( 偏移 = Ch ) .....	15
表 5-12. 基极电流配置 ( 偏移 = 10h ) .....	15
表 5-13. 电机最大速度配置 ( 偏移 = 14h ) .....	15
表 5-14. 速度环路比例增益 ( 偏移 = 18h ) .....	15
表 5-15. 速度环路积分增益 ( 偏移 = 1Ch ) .....	15
表 5-16. 扭矩环路比例增益 ( 偏移 = 20h ) .....	15
表 5-17. 扭矩环路积分增益 ( 偏移 = 24h ) .....	15
表 5-18. ISD_CONFIG 寄存器.....	16
表 5-19. RVS_DRV_CONFIG 寄存器.....	19
表 5-20. MOTOR_STARTUP1 寄存器字段说明.....	20
表 5-21. MOTOR_STARTUP2 寄存器字段说明.....	22
表 5-22. CLOSED_LOOP1 寄存器字段说明.....	27
表 5-23. CLOSED_LOOP2 寄存器字段说明.....	31
表 5-24. FAULT_CONFIG1 寄存器字段说明.....	33
表 5-25. FAULT_CONFIG2 寄存器字段说明.....	34
表 5-26. MISC_ALGO 寄存器字段说明.....	37
表 5-27. PIN_CONFIG 寄存器字段说明.....	38
表 5-28. PERI_CONFIG1 寄存器字段说明.....	38
表 7-1. 用于 DAC 监控的地址表.....	53

## 商标

LaunchPad™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

MSPM0Gxxx 系列 80MHz Arm®-Cortex® M0+ MCU 可通过无传感器 FOC 控制对三相无刷直流 (BLDC) 电机进行换向。BLDC 电机由三相无刷直流 (BLDC) MOSFET 栅极驱动器或集成式 MOSFET 电机驱动器 (标称直流轨为 12V 或 24V) 或电池供电应用驱动。该驱动器通常集成了三个电流检测放大器 (CSA)，用于检测 BLDC 电机的三相电流，从而实现出色的 FOC 控制。

图 1-1 所示为 MSPM0Gxxx MCU 和 BLDC 电机驱动器的简化原理图。

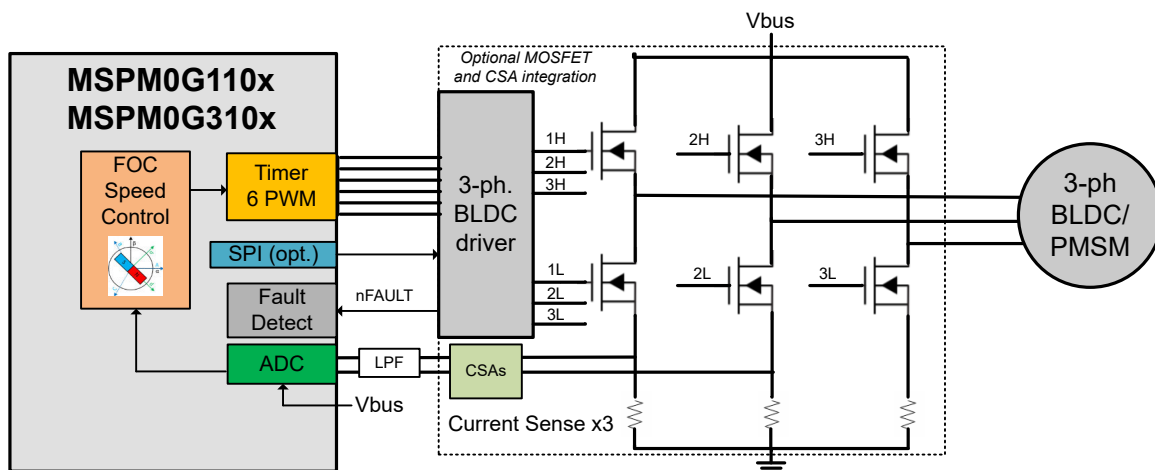


图 1-1. MSPM0Gxxx + BLDC 电机驱动器的简化原理图

本调优指南提供了使用 MSPM0Gxxx MCU 对三相 BLDC 电机进行调优的步骤。调优过程分为四个部分：硬件设置、软件设置、基本调优和高级调优。

- **硬件设置**：设置 TI 提供的硬件或使用定制 PCB 进行调优过程的步骤。
- **软件设置**：设置 TI 提供的软件以旋转和调节 BLDC 电机的步骤。
- **GUI 设置 (可选)**：使用图形用户界面 (GUI) 旋转和调优 BLDC 电机的步骤。
- **基本调优**：在闭环中成功使电机旋转的调优步骤。
- **高级调优**：符合用例并探索器件中功能的调优步骤。

## 2 硬件设置

使用本调优指南时需具备以下各项：

- LP-MSPM0G3507 电路板
- 支持的 DRV83xx 电机驱动器评估模块 (EVM)
  - BOOSTXL-DRV8323RS
  - DRV8316REVM
- 用于引脚表连接的跳线
- 安装了 MSPM0 FOC 软件的计算机
- 要使用此流程进行调优的电机。电机数据表对您有所帮助，但并非强制性要求。
- 适合电机的直流电源。
- 基本实验室设备，例如数字万用表 (DMM)、示波器、电流探针和电压探针

图 2-1 展示了无传感器 FOC 电机系统的连接方框图。此系统可由以下组件构建：

- TI 提供的硬件 (LP-MSPM0G3507 和 DRV83xx EVM)
- 具有板载 MSPM0Gxxx MCU 和 BLDC 电机驱动器的定制 PCB 硬件

以下各节介绍了如何为无传感器 FOC 方框图的每个部分配置引脚。

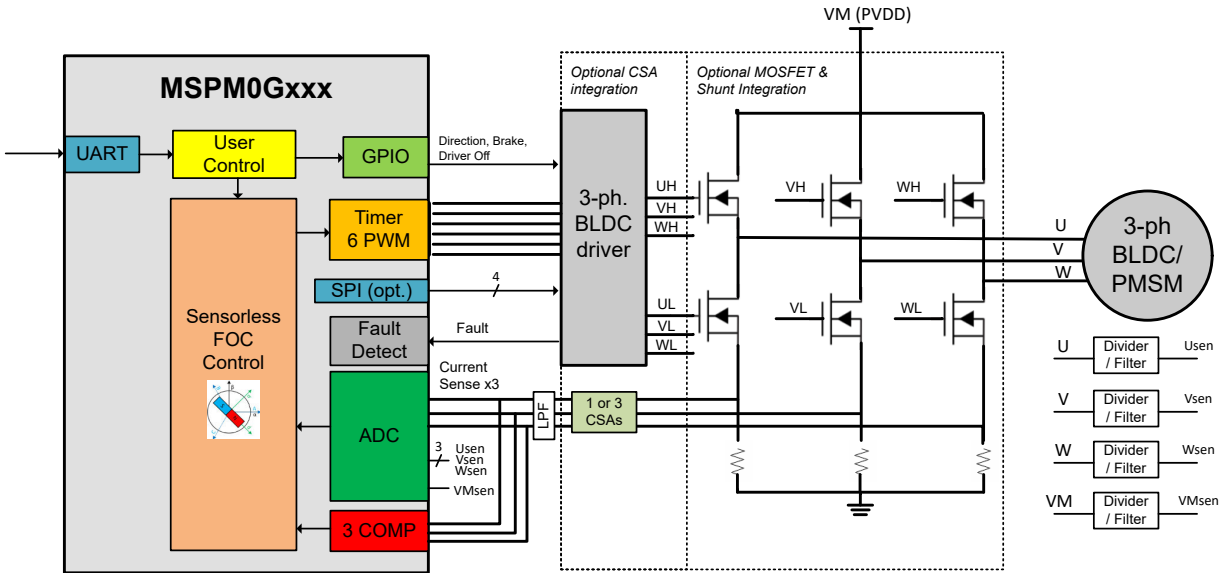


图 2-1. MSPM0Gxxx + BLDC 电机驱动器 - 无传感器 FOC 方框图

系统配置工具 (SysConfig) 有助于配置电机控制系统中的引脚。为 EVM 硬件设置提供了默认引脚配置来旋转电机，但引脚可以在 SysConfig 中直观地重新映射到其他引脚。这对于重新配置定制 PCB 上的不同引脚 (例如 PWM、ADC 或其他控制信号) 或在 MSPM0 器件上扩展到不同的封装非常有用。

## 2.1 EVM 硬件设置

TI 提供用于评估 MSPM0 Arm Cortex-M0+ 微控制器的 LaunchPad™ 开发套件，和用于评估 DRV83xx 系列无刷直流电机驱动器的评估模块 (EVM)。这些评估板可从 ti.com 上获取，并可用作无传感器 FOC 电机控制的系统评估平台。

有关支持的评估板，请参阅节 2.1.1。

### 备注

默认提供具有预配置的引脚，这些引脚支持硬件评估板。如果使用定制 PCB，请参阅以下 引脚配置 部分，为三相电机驱动器分配支持的引脚。

### 2.1.1 EVM 硬件支持

表 2-1 展示了支持的 MSPM0 LaunchPad 套件和 EVM 以及用于三相无传感器 FOC 电机控制的连接指南。

表 2-1. 使用 MSPM0 进行无传感器 FOC 时支持的硬件

MSPM0Gxxx LaunchPad 套件	电机驱动器硬件	硬件用户指南	电流检测放大器	SPI 驱动器支持	建议的电机电压范围	建议的电机功率
LP-MSPM0G3507	BOOSTXL-DRV8323RS	BOOSTXL-DRV8323RS 硬件用户指南	3	是	6V 至 60V	< 1000W
	DRV8316REVM	DRV8316REVM 硬件用户指南	3	是	4.5V 至 35V	< 80W

### 备注

确保 LaunchPad 套件和 EVM 的跳线配置正确。如需更多信息，请参阅 LaunchPad 套件和 EVM 的用户指南。

## 2.2 IPD 使用的引脚配置

初始位置检测 (IPD) 的默认引脚配置如表 2-2 所示。所需的连接是 3 个电流检测放大器输出到 MSPM0 的 3 个集成比较器的正输入。比较器对照预设的 IPD 阈值电压 (由 8 位 DAC 在比较器的负输入中设置) 监测相电流。

表 2-2. IPD 的引脚配置

MSPM0 引脚	MSPM0 功能	DRV 连接	DRV 功能
COMP0_INx+	比较器 0 正输入	SOA	A 相电流检测输出
COMP1_INx+	比较器 1 正输入	SOB	B 相电流检测输出
COMP2_INx+	比较器 2 正输入	SOC	C 相电流检测输出

## 2.3 PWM 输出的引脚配置

表 2-3 展示了 PWM 输出的默认引脚配置。所需的连接为六个 PWM 输出信号，这些信号发送换向图形以实现无传感器 FOC 电机控制。TIMA 包括针对电机控制的特性，例如具有死区的互补 PWM 输出、响应时间 <40ns 的故障处理以及用于配置 FOC 环路速率的重复计数器。

TIMA0 是电机控制的首选计时器，因为它从同一计时器计数器（例如 TIMA0\_C1 和 TIMA0\_C1N）提供三对互补的 PWM 输出，但可以使用任何 TIMA0 或 TIMA1 输出对并进行交叉触发来提供六个 PWM 输出信号。

表 2-3. PWM 输出的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
TIMA0_C0	TIMA0 通道 0 输出引脚	INHA	A 相高侧 PWM 输入
TIMA0_C0N	TIMA0 通道 0 互补输出引脚	INLA	A 相低侧 PWM 输入
TIMA0_C1	TIMA0 通道 1 输出引脚	INHB	B 相高侧 PWM 输入
TIMA0_C1N	TIMA0 通道 1 互补输出引脚	INLB	B 相低侧 PWM 输入
TIMA0_C2	TIMA0 通道 2 输出引脚	INHC	C 相高侧 PWM 输入
TIMA0_C2N	TIMA0 通道 2 互补输出引脚	INLC	C 相低侧 PWM 输入

## 2.4 ADC 电流的引脚配置

表 2-4 和表 2-5 展示了 ADC 电流的默认引脚配置，具体取决于所使用的 DRV 器件。需要将 3 个 ADC 输入连接到电机驱动器或外部 CSA 的 3 个 CSA 输出。

ADC0 和 ADC1 是两个同时采样的 4MSPS 模数转换器，用于测量相电流和电压。ADC0 和 ADC1 在正常电机运行条件下同时测量相电流，并根据转子角度按顺序测量总线电压。通过对 ADC0 和 ADC1 进行采样，测量初始速度检测期间的相电压。

从 CSA 输出到 ADC 输入，可串联一个低通 RC 滤波器（可选），以滤除开关输出信号中的任何高频噪声，从而进行正确的 ADC 采样，如图 2-2 所示。

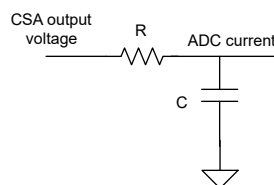


图 2-2. CSA 输出滤波器

选择一个至少为 PWM 开关频率 ( $f_{\text{PWM}}$ ) 10 倍的滤波频率  $f_c$ 。根据 RC 滤波器设计，使用方程式 1 计算  $f_c$ 。

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

表 2-4. DRV8316 中采用同步采样的 ADC 电流的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A0_3	ADC0，通道 3 输入	SOA	A 相电流检测输出
A0_2	ADC0，通道 2 输入	SOB	B 相电流检测输出
A1_2	ADC1，通道 2 输入	SOB	B 相电流检测输出

表 2-4. DRV8316 中采用同步采样的 ADC 电流的引脚配置 (续)

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A1_1	ADC1, 通道 1 输入	SOC	C 相高侧 PWM 输入

表 2-5. DRV8323 中不采用同步采样的 ADC 电流的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A1_2	ADC1, 通道 2 输入	SOA	A 相电流检测输出
A0_3	ADC0, 通道 2 输入	SOB	B 相电流检测输出
A1_3	ADC1, 通道 3 输入	SOC	C 相高侧 PWM 输入

## 2.5 ADC 电压的引脚配置

ADC 电压的默认引脚配置如下表所示。所需连接为四个 ADC 输入：

- 三个 ADC 输入连接到来自电机的检测到的三个相电压 (VSENA、VSENB、VSENC)
- 一个 ADC 输入连接到检测到的 VM 电机电压 (VSENVm)

检测到的电压通过一个电阻分压器和一个可选的旁路滤波电容实现，如图 2-3 所示。调整电阻器的大小，使任何电机电压瞬变都不超过 ADC 输入的最大电压。有关电阻分压比的更多信息，请参阅节 6.1.5。

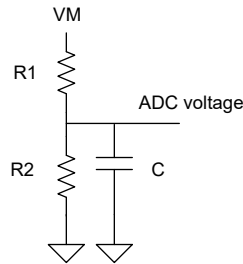


图 2-3. ADC 分压器

### 备注

一个可选中心抽头电压 (CTAP) 可用于感测电机 BEMF。

表 2-6. ADC 相电压的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A1_6	ADC1 通道 6 输入	VSENA	A 相检测电压输出
A0_7	ADC0 通道 7 输入	VSENB	B 相检测电压输出
A1_5	ADC1 通道 5 输入	VSENC	C 相检测电压输出

表 2-7. 用于 DRV8316 的 ADC 直流母线电压检测的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A1_3	ADC1 通道 3 输入	VSEN -Vm	直流总线电压输出

表 2-8. 用于 DRV8323 的 ADC 直流母线电压检测的引脚配置

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
A0_2	ADC0 通道 2 输入	VSEN -Vm	直流总线电压输出

## 2.6 有关故障的引脚配置

有关故障的默认引脚配置如表 2-9 所示。电机驱动器或 MCU 可在硬件中检测故障。

通常，当检测到系统中存在故障时，电机驱动器会驱动低电平有效的开漏故障引脚 (nFAULT)，比如，在驱动器内与 MOSFET 过流、栅极驱动或电源相关故障的连接中。



MSPM0 MCU 可以通过专用硬件路径检测故障输入，从而实现低延迟和快至 40ns 的响应速度。这比使用具有软件延迟的传统 GPIO 中断要快。故障输入路径可使用 TIMA 故障处理程序配置用于故障处理，例如在过流情况下关闭 PWM。TIMA 输入的示例包括外部故障引脚（例如 TIMA\_FLT0）和使用比较器的低侧过流（例如 COMP0\_IN0+）。

**表 2-9. 有关故障的引脚配置**

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
TIMA0_C2	TIMA0 通道 2 输入引脚	nFAULT	开漏低电平有效故障引脚

## 2.7 GPIO 输出功能的引脚配置

MSPM0 的许多 GPIO 输出功能可用于由逻辑电平引脚控制的电机驱动器特定功能。电机驱动器功能的示例包括：

- 使能引脚 (ENABLE)/低电平有效睡眠模式控制 (nSLEEP)
- 高电平有效栅极驱动器关断 (DRVOFF)
- 高电平有效 CSA 校准 (CAL)
- 高电平有效制动 (BRAKE)/低电平有效制动 (nBRAKE)
- 方向引脚 (DIR)

### 备注

有关 GPIO 可配置引脚，请参阅电机驱动器数据表和用户指南。

## 2.8 SPI 通信的引脚配置

SPI 连接的默认引脚配置如节 2.8 所示。一些电机驱动器包括可选的 SPI，用于配置控制寄存器和读取状态寄存器以进行故障诊断。SPI 寄存器的一些示例包括：

- 配置栅极驱动拉电流/灌电流强度
- 配置 CSA 输出行为
- 运行诊断
- 检测到故障引脚为低电平有效时读取故障位
- 故障条件消除后清除故障状态位
- 清除看门狗计时器

### 备注

如果使用 SPI 或硬件接口配置系统设置，请参阅电机驱动器数据表。

**表 2-10. SPI 连接的引脚配置**

MSPM0 引脚	功能	DRV 连接	DRV 功能
SPIx_CSy	SPI 芯片选择 (y = 0、1、2、3)	nSCS	SPI 芯片选择
SPIx_SCK	SPI 时钟	SCLK	SPI 时钟
SPIx_POCI	SPI 外设输出控制器输入	SDO	SPI 数据输出
SPIx_PICO	SPI 外设输入控制器输出	SDI	SPI 数据输入

### 备注

请参阅电机驱动器数据表，确定 SDO 引脚是否为开漏引脚以及是否需要上拉电阻器。

## 2.9 UART 通信的引脚配置

UART 连接的默认引脚配置如节 2.9 所示。UART 可用于接收命令以配置、旋转和控制电机。这些命令从主机 MCU 或 GUI 发送，并可选择性地用于 LIN 通信等高级协议。



备注

当与 DMA 和 LIN 接口一同使用时，使用 UART 实例 0 ( UART0\_RX、UART0\_TX ) 来配置 UART 接口。

备注

当与 DMA 一同使用时，使用 UART 实例 3 ( UART3\_RX、UART3\_TX ) 为 GUI 通信配置 UART 接口。

表 2-11. UART 连接的引脚配置

MSPM0 引脚	功能
UARTx_RX	UART 接收
UARTx_TX	UART 发送

## 2.10 评估板的外部连接

将 MSPM0 LaunchPad 连接到 DRV83xx EVM 时，请按照以下步骤操作：

1. 将电机连接到电机相位连接端子黑色 ( A、B 和 C 相 )。如果电机具有用于连接霍尔效应传感器的中心抽头连接或导线，请将这些导线保持未连接状态。
2. 通过将 EVM 与 LaunchPad 匹配或使用跳线来实现从 MSPM0 LaunchPad 到 DRV83xx EVM 的器件间连接，如图 2-4 所示。有关硬件用户指南连接的详细信息，请参阅节 2.1.1。
  - a. 如果使用主机 MCU 通过 UART 与 MSPM0 器件进行通信，请将主机 MCU 板的 UART 连接到 MSPM0 LaunchPad 套件。
  - b. 如果使用 GUI 通过 USB 连接到反向通道 UART 来与 MSPM0 器件进行通信，请将反向通道 UART 连接到 UART3\_TX 和 UART3\_RX，如图 2-5 所示。
3. 用 Micro-USB 电缆将 MSPM0 LaunchPad 套件连接到 PC。
  - a. 如果需要将 PC 与电机系统隔离，请移除电桥上的 GND 和 3V3 隔离跳线。如果完成了这一步，则必须在外部或从 DRV83xx EVM 板 ( 如果可用 ) 提供 3V3。
4. 提供符合电源电压 (VM) 范围的电压。有关建议的电压范围，请参阅特定于电路板的用户指南或 DRV 特定数据表。

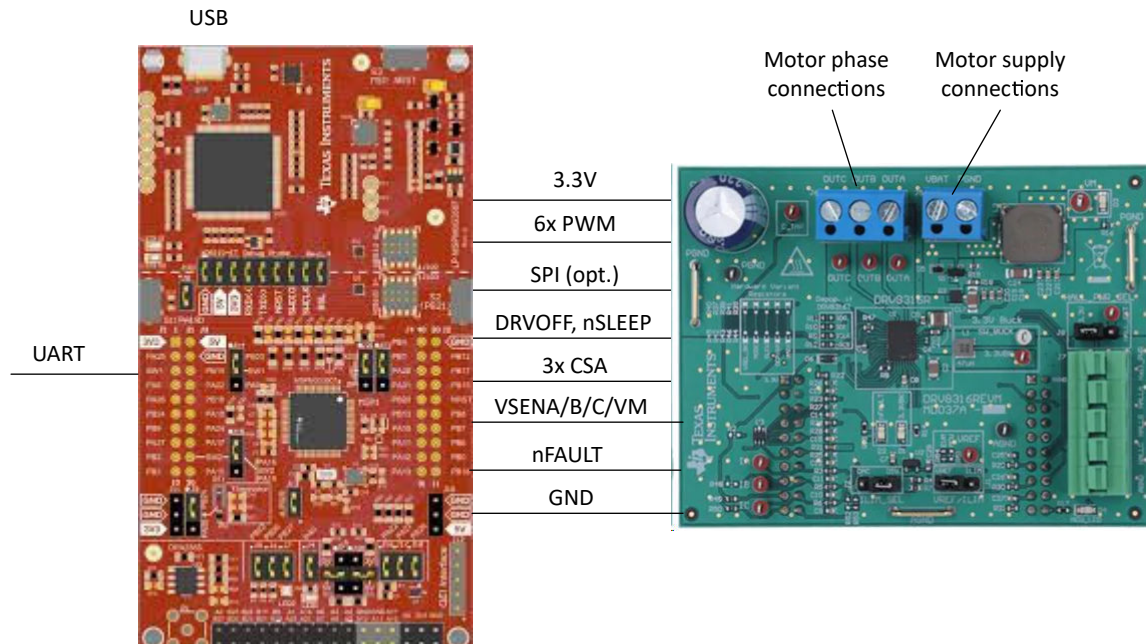


图 2-4. MSPM0 LaunchPad 套件和 DRV83xx EVM 外部配置

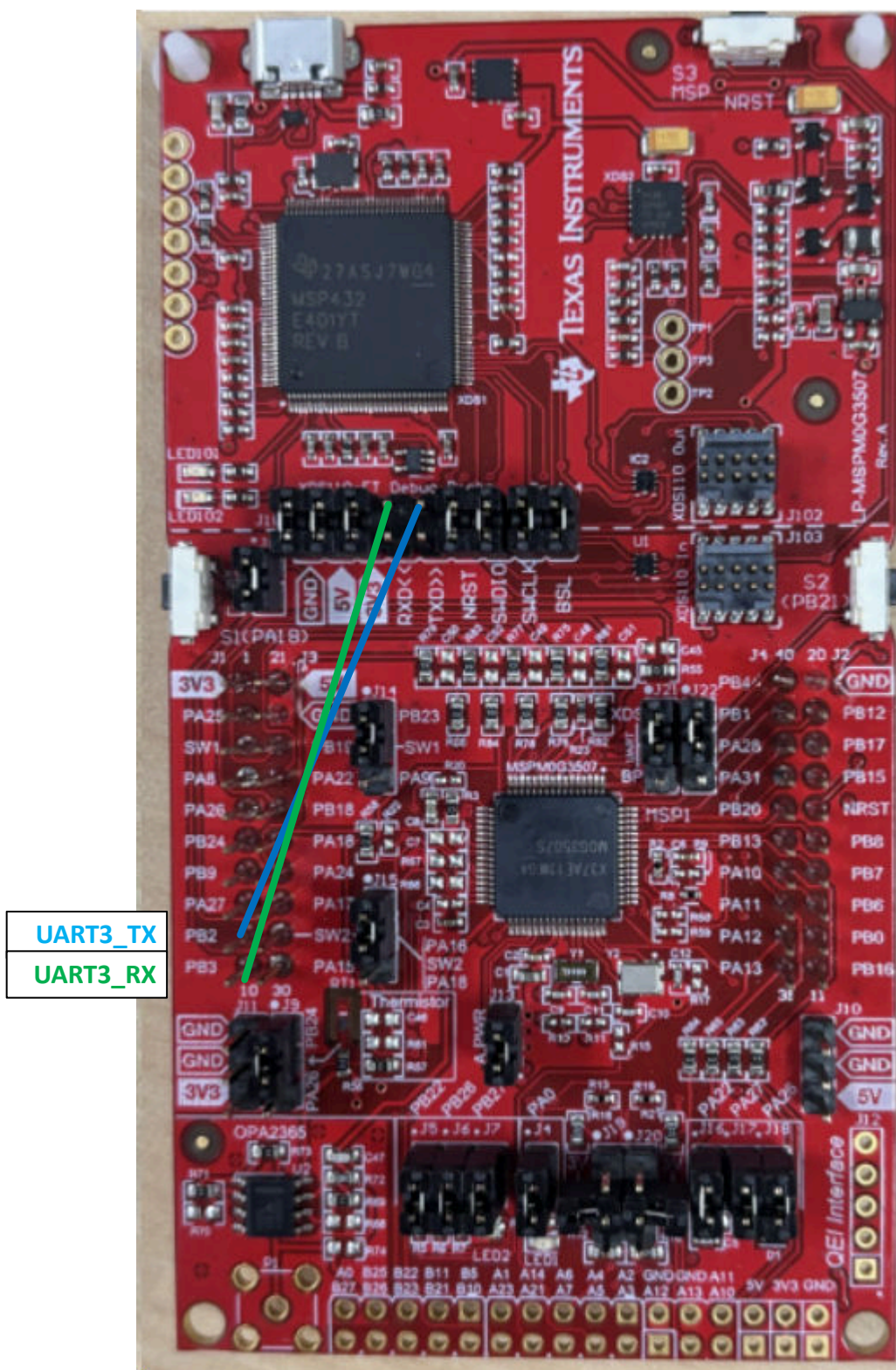


图 2-5. LP-MSPM0G3507 反向通道连接到 UART3

## 3 软件设置

MSPM0 MCU 的无传感器 FOC 软件在 MSPM0-SDK 中提供，可使用 Code Composer Studio IDE 进行评估。

有关支持的评估板，请参阅节 3.1。

### 3.1 软件支持

表 3-1 展示了 TI Resource Explorer 中的无传感器 FOC 控制支持的软件和文档。

**表 3-1. FOC 控制的软件支持**

无传感器 FOC 用户指南 <sup>(1)</sup>	代码示例	GUI	调优用户指南
无传感器 FOC 用户指南	DRV8323RS DRV8316	MSPM0G 无传感器 FOC GUI	MSPM0 无传感器 FOC 调优指南

(1) 包括库概述、软件设置、硬件设置等。

## 4 GUI 设置

用户可以选择将 **MSPM0 无传感器 FOC GUI** 用作主机，向目标端的 MSPM0 MCU 发送命令，以使用 SWD 或 UART 接口控制电机。

使用 SWD 时，MSPM0 LaunchPad 套件上的板载 XDS110 调试器会发送修改后的 GUI 变量中的值。这些值链接到电机控制软件中的变量和表达式，并在运行时直接更新这些值。使用 UART 时，GUI 包括一个 USB 转 UART 编解码器，该编解码器可将 UART 命令作为主机发送到 MSPM0 LaunchPad 套件。应用软件包括可配置的 UART 寄存器映射和数据格式，用于将 UART 数据转换为简化的电机控制命令。

**表 4-1. GUI 连接类型**

连接	接口	硬件连接
GUI 至目标 MSPM0 MCU	SWD ( 串行线调试 )	SWDIO、SWCLK
GUI 至目标 MSPM0 MCU	UART	UART3_TX、UART3_RX

要设置 GUI，请执行以下操作：

1. 确保按照节 2 中所述为评估板或定制用户 PCB 连接硬件。
2. 运行 **MSPM0 无传感器 FOC GUI**。
3. 按照节 6 和节 7 中所述配置和调整电机。

## 5 寄存器映射

### 5.1 用户控制寄存器 ( 基址 = 0x202000C8h )

用户控制寄存器是一组用户可配置参数，用于实时控制电机。可以在应用程序代码中使用指针变量 pUserCtrlRegs 修改这些寄存器组。

**表 5-1. 用户控制寄存器**

偏移	缩写	寄存器名称	部分
0h	SPEED_CTRL	速度控制寄存器	<a href="#">节 5.1.1</a>
4h	ALGO_DEBUG_CTRL1	算法调试控制 1 寄存器	<a href="#">节 5.1.2</a>
8h	ALGO_DEBUG_CTRL2	算法调试控制 2 寄存器	<a href="#">节 5.1.3</a>

复杂的位访问类型经过编码可适应小的表格单元格，如下所示。

**表 5-2. 寄存器配置访问类型代码**

访问类型	代码	说明
<b>读取类型</b>		
R	R	读取
<b>写入类型</b>		
W	W	写入
<b>复位或默认值</b>		
-n		复位后的值或默认值

#### 5.1.1 速度控制寄存器 ( 偏移 = 0h ) [复位 = 00000000h]

用以控制电机速度的寄存器

**表 5-3. SPEED\_CTRL 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	说明
31 - 15	RESERVED	R	0h	保留
14-0	SPEED_CTRL	W	0h	目标电机转速/扭矩值 速度百分比或扭矩命令 × 32768。

#### 5.1.2 算法调试控制 1 寄存器 ( 偏移 = 4h ) [复位 = 00000000h]

用以控制算法调试函数的寄存器

**表 5-4. 算法调试控制 1 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	说明
31	CLEAR_FAULT	W	0h	用以清除设置控制器和栅极驱动器故障的位。位会自动复位。 1h = 清除故障命令。
30-22	FORCED_ALIGN_ANGLE	W	0h	在强制对齐状态 ( FORCE_ALIGN_EN = 1 ) 期间使用的 9 位值 ( 以 ° 为单位 )。应用的角度 (°) = FORCED_ALIGN_ANGLE % 360°
21-16	RESERVED	R	0h	
15	CLOSED_LOOP_DIS	W	0h	用于禁用闭环 0h = 启用闭环 1h = 禁用闭环，在开环中进行电机换向



表 5-4. 算法调试控制 1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
14	FORCE_ALIGN_EN	W	0h	强制对齐状态使能 0h = 禁用强制对齐状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为对齐或双对齐, 器件会退出对齐状态 1h = 启用强制对齐状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为对齐或双对齐, 器件会保持对齐状态
13	FORCE_SLOW_FIRST_CYCLE_EN	W	0h	强制慢速首循环使能 0h = 禁用强制慢速首循环状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为慢速首循环, 器件会退出慢速首循环状态 1h = 启用强制慢速首循环状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为慢速首循环, 器件会保持慢速首循环状态
12	FORCE_IPD_EN	W	0h	强制 IPD 使能 0h = 禁用强制 IPD 状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为 IPD, 器件会退出 IPD 状态 1h = 启用强制 IPD 状态, 如果将 MTR_STARTUP 选择为 IPD, 器件会保持 IPD 状态
11	FORCE_ISD_EN	W	0h	强制 ISD 使能 0h = 禁用强制 ISD 状态, 如果设置了 ISD_EN, 器件会退出 ISD 状态 1h = 启用强制 ISD 状态, 如果设置了 ISD_EN, 器件会保持 ISD 状态
10	FORCE_ALIGN_ANGLE_SRC_SEL	W	0h	强制对齐角度状态源选择 0h = 由 ALIGN_ANGLE 定义的强制对齐角度 1h = 由 FORCED_ALIGN_ANGLE 定义的强制对齐角度
9-0	FORCE_IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS	W	0h	在禁用速度环路时设置 Iq_ref。如果 SPEED_LOOP_DIS = 1b, 则使用 IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS 设置 Iq_ref, 如果 FORCE_IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS < 500 - (FORCE_IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS - 512) / 500 × 10, 则 Iq_ref = (FORCE_IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS / 500) × 10, 如果 FORCE_IQ_REF_SPEED_LOOP_DIS > 512, 则有效值为 0 至 500 以及 512 至 1000

### 5.1.3 算法调试控制 2 寄存器 (偏移 = 8h) [复位 = 00000000h]

用以控制算法调试函数的寄存器

表 5-5. 算法调试控制 2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31 - 28	RESERVED	R	0h	保留
27	STATUS_UPDATE_ENABLE	W	0h	此位会启用用户状态变量的实时持续更新。
26	CURRENT_LOOP_DIS	W	0h	用于控制 FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS 和 FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS。如果 CURRENT_LOOP_DIS = 1b, 则电流环路和速度环路被禁用 0h = 启用电流环路 1h = 禁用电流环路

表 5-5. 算法调试控制 2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
25-16	FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS	W	0h	在禁用电流环路和速度环路时设置 Vd_ref。如果 CURRENT_LOOP_DIS = 1b，则使用 FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS 控制 Vd，如果 FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS < 500 - (FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS - 512) / 500，则 Vd_ref = (FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS / 500)，如果 FORCE_VD_CURRENT_LOOP_DIS > 512，则有效值为：0 至 500 以及 512 至 1000
15-6	FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS	W	0h	在禁用电流环路速度环路时设置 Vq_ref。如果 CURRENT_LOOP_DIS = 1b，则使用 FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS 控制 Vq，如果 FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS < 500 - (FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS - 512) / 500，则 Vq_ref = (FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS / 500)，如果 FORCE_VQ_CURRENT_LOOP_DIS > 512，则有效值为：0 至 500 以及 512 至 1000
5-0	RESERVED	R	0h	保留

## 5.2 用户输入寄存器 (基址 = 0x20200000h)

用户输入寄存器是一组可配置寄存器，为各种电机控制功能实时调优电机性能并将其保存在闪存中

表 5-6. 用户输入寄存器

偏移	缩写	寄存器名称	部分
0h	SYSTEM_PARAMETERS	系统参数	<a href="#">节 5.2.1</a>
28h	ISD_CFG	初始速度检测配置	<a href="#">节 5.2.2</a>
2Ch	RVS_DRV_CONFIG	反向驱动配置	<a href="#">节 5.2.3</a>
30h	MOTOR_STARTUP1	电机启动 1 配置	<a href="#">节 5.2.4</a>
34h	MOTOR_STARTUP2	电机启动 2 配置	<a href="#">节 5.2.5</a>
38h	CLOSELOOP1	关闭 Loop1 配置	<a href="#">节 5.2.6</a>
3Ch	CLOSELOOP2	关闭 Loop2 配置	<a href="#">节 5.2.7</a>
40h	FAULT_CONFIG1	故障配置 1	<a href="#">节 5.2.8</a>
44h	FAULT_CONFIG2	故障配置 2	<a href="#">节 5.2.9</a>
48h	MISC_ALGO_CONFIG	其他算法配置	<a href="#">节 5.2.10</a>
4Ch	PIN_CONFIGURATION	引脚配置	<a href="#">节 5.2.11</a>
50h	PERI_CONFIG	外设配置	<a href="#">节 5.2.12</a>

复杂的位访问类型经过编码可适应小的表格单元格，如下所示。

表 5-7. 寄存器配置访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

### 5.2.1 SYSTEM\_PARAMETERS (偏移 = 0h)

电机控制系统功能所必需的一组基本系统配置参数

**表 5-8. 电机电阻配置寄存器 ( 偏移 = 4h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	MTR_RESISTANCE	R/W	0h	以毫欧为单位的电机电阻

**表 5-9. 电机电感配置 ( 偏移 = 8h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	MTR_INDUCTANCE	R/W	0h	电机电感, 单位为微亨

**表 5-10. 电机 BEMF 常数配置 ( 偏移 = 8h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	MTR_BEMF_CONSTANT	R/W	0h	电机 BEMF 常数, 单位为 mV/Hz × 10。

**表 5-11. 基极电压配置 ( 偏移 = Ch )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	VOLTAGE_BASE	R/W	0.0	该电路板的基极电压基于分压器计算得出 ( 3.3V × 分压比 ), 单位为伏特。3.3V 是 ADC 的满量程值。

**表 5-12. 基极电流配置 ( 偏移 = 10h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	CURRENT_BASE	R/W	0.0	该电路板的基极电流是根据 CSA 增益计算得出的 ( 1.65V/CSA 增益, 单位为伏/安培 ), 单位为安培。 1.65V 是 ADC 用于双向电流检测的参考中点电压。 如果 CSA 增益以 V/V 为单位, 则乘以以欧姆为单位的电流检测电阻值, 以伏/安为单位计算 CSA 增益

**表 5-13. 电机最大速度配置 ( 偏移 = 14h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	MOTOR_MAX_SPEED	R/W	0h	数据表中以 Hz 为单位的额定电机转速

**表 5-14. 速度环路比例增益 ( 偏移 = 18h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	SPEED_LOOP_KP	R/W	0.0	以浮点方式进行闭环速度控制的比例增益

**表 5-15. 速度环路积分增益 ( 偏移 = 1Ch )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	SPEED_LOOP_KI	R/W	0.0	以浮点方式进行闭环速度控制的积分增益

**表 5-16. 扭矩环路比例增益 ( 偏移 = 20h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	CURR_LOOP_KP	R/W	0.0	以浮点方式进行闭环扭矩控制的比例增益

**表 5-17. 扭矩环路积分增益 ( 偏移 = 24h )**

位	字段	类型	复位	说明
31-0	CURR_LOOP_KI	R/W	0.0	以浮点方式进行闭环扭矩控制的积分增益

## 5.2.2 ISD\_CONFIG 寄存器 ( 偏移 = 28h ) [复位 = 00000000h]

用以配置初始速度检测的寄存器



表 5-18. ISD\_CONFIG 寄存器

位	字段	类型	复位	说明
31-30	BEMF_RESYNC_THRES HOLD	R/W	0h	用于 ISD 重新同步的估算 BEMF 与实际 BEMF 的最小比率 0h = 0.75 1h = 0.80 2h = 0.85 3h = 0.90
29	ISD_EN	R/W	0h	ISD 使能 0h = 禁用 1h = 启用
28	BRAKE_EN	R/W	0h	制动使能 0h = 禁用 1h = 启用
27	HIZ_EN	R/W		高阻态使能 0h = 禁用 1h = 启用
26	RVS_DR_EN	R/W	0h	反向驱动使能 0h = 禁用 1h = 启用
25	RESYNC_EN	R/W	0h	重新同步使能 0h = 禁用 1h = 启用
24-21	FW_DRV_RESYN_THR	R/W	0h	与闭环重新同步的最小速度阈值 ( 占 MAX_SPEED 的百分比 ) 0h = 5% 1h = 10% 2h = 15% 3h = 20% 4h = 25% 5h = 30% 6h = 35% 7h = 40% 8h = 45% 9h = 50% Ah = 55% Bh = 60% Ch = 70% Dh = 80% Eh = 90% Fh = 100%
20	BRK_CONFIG	R/W	0h	制动配置 0h = 制动时间用于脱离制动状态 1h = 制动电流阈值用于脱离制动状态

表 5-18. ISD\_CONFIG 寄存器 (续)

位	字段	类型	复位	说明
16-19	BRK_TIME	R/W	0h	制动时间 0h = 10ms 1h = 50ms 2h = 100ms 3h = 200ms 4h = 300ms 5h = 400ms 6h = 500ms 7h = 750ms 8h = 1s 9h = 2s Ah = 3s Bh = 4s Ch = 5s Dh = 7.5s Eh = 10s Fh = 15s
15-12	HIZ_TIME	R/W	0h	高阻态时间 0h = 10ms 1h = 50ms 2h = 100ms 3h = 200ms 4h = 300ms 5h = 400ms 6h = 500ms 7h = 750ms 8h = 1s 9h = 2s Ah = 3s Bh = 4s Ch = 5s Dh = 7.5s Eh = 10s Fh = 15s
11-9	STAT_DETECT_THR	R/W	0h	用于检测电机是否静止的 BEMF 阈值 0h = 50mV 1h = 75mV 2h = 100mV 3h = 250mV 4h = 500mV 5h = 750mV 6h = 1000mV 7h = 1500mV

表 5-18. ISD\_CONFIG 寄存器 (续)

位	字段	类型	复位	说明
8-5	REV_DRV_HANDOFF_THR	R/W	0h	用于在反向减速期间转换到开环的速度阈值 (占 MAX_SPEED 的百分比) 0h = 2.5% 1h = 5% 2h = 7.5% 3h = 10% 4h = 12.5% 5h = 15% 6h = 20% 7h = 25% 8h = 30% 9h = 40% Ah = 50% Bh = 60% Ch = 70% Dh = 80% Eh = 90% Fh = 100%
4-0	REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT	R/W	0h	速度反转期间的开环电流限值 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%

### 5.2.3 RVS\_DRV\_CONFIG 寄存器 ( 偏移 = 2Ch ) [复位 = 00000000h]

用于配置反向驱动的寄存器

表 5-19. RVS\_DRV\_CONFIG 寄存器

位	字段	类型	复位	说明
31-29	RESERVED	R	0h	保留
28	REV_DRV_CONFIG	R/W	0h	在反向驱动的正向和反向驱动设置之间进行选择 0h = 开环电流, A1、A2 基于正向驱动 1h = 开环电流, A1、A2 基于反向驱动
27-24	REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1	R/W	0h	反向驱动期间的反向驱动开环加速系数 A1 0h = 0.01Hz/s 1h = 0.05Hz/s 2h = 1Hz/s 3h = 2.5Hz/s 4h = 5Hz/s 5h = 10Hz/s 6h = 25Hz/s 7h = 50Hz/s 8h = 75Hz/s 9h = 100Hz/s Ah = 250Hz/s Bh = 500Hz/s Ch = 750Hz/s Dh = 1000Hz/s Eh = 5000Hz/s Fh = 10000Hz/s
23-20	REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2	R/W		反向驱动期间的反向驱动开环加速系数 A2 0h = 0.0Hz/s <sup>2</sup> 1h = 0.05Hz/s <sup>2</sup> 2h = 1Hz/s <sup>2</sup> 3h = 2.5Hz/s <sup>2</sup> 4h = 5Hz/s <sup>2</sup> 5h = 10Hz/s <sup>2</sup> 6h = 25Hz/s <sup>2</sup> 7h = 50Hz/s <sup>2</sup> 8h = 75Hz/s <sup>2</sup> 9h = 100Hz/s <sup>2</sup> Ah = 250Hz/s <sup>2</sup> Bh = 500Hz/s <sup>2</sup> Ch = 750Hz/s <sup>2</sup> Dh = 1000Hz/s <sup>2</sup> Eh = 5000Hz/s <sup>2</sup> Fh = 10000Hz/s <sup>2</sup>
19-0	保留	R	0h	保留

## 5.2.4 MOTOR\_STARTUP1 寄存器 ( 偏移 = 30h ) [复位 = 00000000h]

用于配置电机启动设置 1 的寄存器

**表 5-20. MOTOR\_STARTUP1 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	说明
31-30	MTR_STARTUP_OPTION	R/W	0h	电机启动方法 0h = 对齐 1h = 双对齐 2h = IPD 3h = 慢速首循环
29-26	ALIGN_SLOW_RAMP_RATE	R/W	0h	对齐、慢速首循环和开环电流升降速率 0h = 0.1A/s 1h = 1A/s 2h = 5A/s 3h = 10A/s 4h = 15A/s 5h = 25A/s 6h = 50A/s 7h = 100A/s 8h = 150A/s 9h = 200A/s Ah = 250A/s Bh = 500A/s Ch = 1000A/s Dh = 2000A/s Eh = 5000A/s Fh = 无限制 A/s
25-22	ALIGN_TIME	R/W	0h	对齐时间 0h = 10ms 1h = 50ms 2h = 100ms 3h = 200ms 4h = 300ms 5h = 400ms 6h = 500ms 7h = 750ms 8h = 1s 9h = 1.5s Ah = 2s Bh = 3s Ch = 4s Dh = 5s Eh = 7.5s Fh = 10s

表 5-20. MOTOR\_STARTUP1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
21-17	ALIGN_OR_SLOW_CURRENT_ILIMIT	R/W	0h	对齐/慢速首循环期间的电流限制 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%
16-14	IPD_CLK_FREQ	R/W	0h	IPD 时钟频率 0h = 50Hz 1h = 100Hz 2h = 250Hz 3h = 500Hz 4h = 1000Hz 5h = 2000Hz 6h = 5000Hz 7h = 10000Hz
13-7	IPD_CURR_THR	R/W	0h	IPD 电流限制 $\times$ CURRENT_BASE / $2^7$ 的 7 位值
6	IPD_RLS_MODE	R/W	0h	IPD 释放模式 0h = 制动 1h = 三态
5-4	IPD_ADV_ANGLE	R/W	0h	IPD 超前角度 0h = 0° 1h = 30° 2h = 60° 3h = 90°

表 5-20. MOTOR\_STARTUP1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
3-2	IPD_REPEAT	R/W	0h	IPD 执行次数 0h = 1 次 1h = 平均 2 次 2h = 平均 3 次 3h = 平均 4 次
1	OL_ILIMIT_CONFIG	R/W	0h	开环电流限值配置 0h = 由 OL_ILIMIT 定义的开环电流限值 1h = 由 ILIMIT 定义的开环电流限值
0	IQ_RAMP_EN	R/W	0h	Iq 在转换至闭环之前下降 0h = 禁用 Iq 下降 1h = 启用 Iq 下降

### 5.2.5 MOTOR\_STARTUP2 寄存器 (偏移 = 34h) [复位 = 00000000h]

用于配置电机启动设置 2 的寄存器

表 5-21. MOTOR\_STARTUP2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-27	OL_ILIMIT	R/W	0h	开环电流限制 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%



表 5-21. MOTOR\_STARTUP2 寄存器字段说明 ( 续 )

位	字段	类型	复位	说明
26-23	OL_ACC_A1	R/W	0h	开环加速系数 A1 0h = 0.01Hz/s 1h = 0.05Hz/s 2h = 1Hz/s 3h = 2.5Hz/s 4h = 5Hz/s 5h = 10Hz/s 6h = 25Hz/s 7h = 50Hz/s 8h = 75Hz/s 9h = 100Hz/s Ah = 250Hz/s Bh = 500Hz/s Ch = 750Hz/s Dh = 1000Hz/s Eh = 5000Hz/s Fh = 10000Hz/s
22-19	OL_ACC_A2	R/W	0h	开环加速系数 A2 0h = 0.0Hz/s <sup>2</sup> 1h = 0.05Hz/s <sup>2</sup> 2h = 1Hz/s <sup>2</sup> 3h = 2.5Hz/s <sup>2</sup> 4h = 5Hz/s <sup>2</sup> 5h = 10Hz/s <sup>2</sup> 6h = 25Hz/s <sup>2</sup> 7h = 50Hz/s <sup>2</sup> 8h = 75Hz/s <sup>2</sup> 9h = 100Hz/s <sup>2</sup> Ah = 250Hz/s <sup>2</sup> Bh = 500Hz/s <sup>2</sup> Ch = 750Hz/s <sup>2</sup> Dh = 1000Hz/s <sup>2</sup> Eh = 5000Hz/s <sup>2</sup> Fh = 10000Hz/s <sup>2</sup>
18	AUTO_HANDOFF_EN	R/W	0h	自动切换使能 0h = 禁用自动切换 ( 并使用 OPN_CL_HANDOFF_THR ) 1h = 启用自动切换

表 5-21. MOTOR\_STARTUP2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
17-13	OPN_CL_HANDOFF_THR	R/W	0h	开环到闭环切换阈值 (占 MAX_SPEED 的百分比) 0h = 1% 1h = 2% 2h = 3% 3h = 4% 4h = 5% 5h = 6% 6h = 7% 7h = 8% 8h = 9% 9h = 10% Ah = 11% Bh = 12% Ch = 13% Dh = 14% Eh = 15% Fh = 16% 10h = 17% 11h = 18% 12h = 19% 13h = 20% 14h = 22.5% 15h = 25% 16h = 27.5% 17h = 30% 18h = 32.5% 19h = 35% 1Ah = 37.5% 1Bh = 40% 1Ch = 42.5% 1Dh = 45% 1Eh = 47.5% 1Fh = 50%

表 5-21. MOTOR\_STARTUP2 寄存器字段说明 ( 续 )

位	字段	类型	复位	说明
12-8	ALIGN_ANGLE	R/W	0h	对齐角度 0h = 0° 1h = 10° 2h = 20° 3h = 30° 4h = 45° 5h = 60° 6h = 70° 7h = 80° 8h = 90° 9h = 110° Ah = 120° Bh = 135° Ch = 150° Dh = 160° Eh = 170° Fh = 180° 10h = 190° 11h = 210° 12h = 225° 13h = 240° 14h = 250° 15h = 260° 16h = 270° 17h = 280° 18h = 290° 19h = 315° 1Ah = 330° 1Bh = 340° 1Ch = 350° 1Dh = 不适用 1Eh = 不适用 1Fh = 不适用
7-4	SLOW_FIRST_CYC_FREQ_Q	R/W	0h	闭环启动中首循环的频率 ( 占 MAX_SPEED 的百分比 ) 0h = 1% 1h = 2% 2h = 3% 3h = 5% 4h = 7.5% 5h = 10% 6h = 12.5% 7h = 15% 8h = 17.5% 9h = 20% Ah = 25% Bh = 30% Ch = 35% Dh = 40% Eh = 45% Fh = 50%
3	FIRST_CYCLE_FREQ_SEL	R/W	0h	开环中用于对齐、双对齐和 IPD 启动选项的首循环频率 0h = 由 SLOW_FIRST_CYC_FREQ 定义 1h = 0Hz

表 5-21. MOTOR\_STARTUP2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
2-0	THETA_ERROR_RAMP_RATE	R/W	0h	用于减小估算的 $\theta$ 与开环 $\theta$ 之间的差值的升降速率 0h = 0.01°/ms 1h = 0.05°/ms 2h = 0.1°/ms 3h = 0.15°/ms 4h = 0.2°/ms 5h = 0.5°/ms 6h = 1°/ms 7h = 2°/ms

## 5.2.6 CLOSED\_LOOP1 寄存器 ( 偏移 = 38h ) [复位 = 00000000h]

用于配置闭环设置 1 的寄存器

表 5-22. CLOSED\_LOOP1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-27	RESERVED	R/W	0h	保留
26-22	ILIMIT	R/W	0h	闭环扭矩模式和闭环速度控制下的电流限制 ( 占 CURRENT_BASE 的百分比 ) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%
21-20	MTR_STOP	R/W	0h	电机停止方法 0h = 高阻态 1h = 主动降速 2h = 制动 3h = 保留
19	OVERMODULATION_EN ABLE	R/W	0h	过调制使能 0h = 禁用过调制 1h = 启用过调制

表 5-22. CLOSED\_LOOP1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
18-14	CL_ACC	R/W	0h	闭环加速 0h = 0.5Hz/s 1h = 1Hz/s 2h = 2.5Hz/s 3h = 5Hz/s 4h = 7.5Hz/s 5h = 10Hz/s 6h = 20Hz/s 7h = 40Hz/s 8h = 60Hz/s 9h = 80Hz/s Ah = 100Hz/s Bh = 200Hz/s Ch = 300Hz/s Dh = 400Hz/s Eh = 500Hz/s Fh = 600Hz/s 10h = 700Hz/s 11h = 800Hz/s 12h = 900Hz/s 13h = 1000Hz/s 14h = 2000Hz/s 15h = 4000Hz/s 16h = 6000Hz/s 17h = 8000Hz/s 18h = 10000Hz/s 19h = 20000Hz/s 1Ah = 30000Hz/s 1Bh = 40000Hz/s 1Ch = 50000Hz/s 1Dh = 60000Hz/s 1Eh = 70000Hz/s 1Fh = 无限值
13	CL_DEC_CONFIG	R/W	0h	闭环减速配置 0h = 由 CL_DEC 定义的闭环减速 1h = 由 CL_ACC 定义的闭环减速

表 5-22. CLOSED\_LOOP1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
12-8	CL_DEC	R/W	0h	<p>闭环减速。仅当 AVS 被禁用且 CL_DEC_CONFIG 被设置为“0”时，才使用该寄存器</p> <p>0h = 0.5Hz/s</p> <p>1h = 1Hz/s</p> <p>2h = 2.5Hz/s</p> <p>3h = 5Hz/s</p> <p>4h = 7.5Hz/s</p> <p>5h = 10Hz/s</p> <p>6h = 20Hz/s</p> <p>7h = 40Hz/s</p> <p>8h = 60Hz/s</p> <p>9h = 80Hz/s</p> <p>Ah = 100Hz/s</p> <p>Bh = 200Hz/s</p> <p>Ch = 300Hz/s</p> <p>Dh = 400Hz/s</p> <p>Eh = 500Hz/s</p> <p>Fh = 600Hz/s</p> <p>10h = 700Hz/s</p> <p>11h = 800Hz/s</p> <p>12h = 900Hz/s</p> <p>13h = 1000Hz/s</p> <p>14h = 2000Hz/s</p> <p>15h = 4000Hz/s</p> <p>16h = 6000Hz/s</p> <p>17h = 8000Hz/s</p> <p>18h = 10000Hz/s</p> <p>19h = 20000Hz/s</p> <p>1Ah = 30000Hz/s</p> <p>1Bh = 40000Hz/s</p> <p>1Ch = 50000Hz/s</p> <p>1Dh = 60000Hz/s</p> <p>1Eh = 70000Hz/s</p> <p>1Fh = 无限值</p>
7-8	PWM_FREQ_OUT	R/W	0h	<p>输出 PWM 开关频率</p> <p>0h = 10kHz</p> <p>1h = 15kHz</p> <p>2h = 20kHz</p> <p>3h = 25kHz</p> <p>4h = 30kHz</p> <p>5h = 35kHz</p> <p>6h = 40kHz</p> <p>7h = 45kHz</p> <p>8h = 50kHz</p> <p>9h = 55kHz</p> <p>Ah = 60kHz</p> <p>Bh = 65kHz</p> <p>Ch = 70kHz</p> <p>Dh = 75kHz</p> <p>Eh = 不适用</p> <p>Fh = 不适用</p>



表 5-22. CLOSED\_LOOP1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
14	PWM_MODE	R/W	0h	PWM 调制 0h = 连续空间矢量调制 1h = 不连续空间矢量调制
3	AVS_EN	R/W	0h	AVS 使能 0h = 禁用 1h = 启用
2	DEADTIME_COMP_EN	R/W	0h	死区时间补偿使能 0h = 禁用 1h = 启用
1	SPEED_LOOP_DIS	R/W	0h	禁用速度环路 0h = 启用 1h = 禁用

## 5.2.7 CLOSED\_LOOP2 寄存器 ( 偏移 = 3Ch ) [复位 = 00000000h]

用于配置闭环设置 2 的寄存器

**表 5-23. CLOSED\_LOOP2 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	说明
31-28	ACT_SPIN_THR	R/W	0h	主动降速的速度阈值 ( 占 MAX_SPEED 的百分比 ) 0h = 100% 1h = 90% 2h = 80% 3h = 70% 4h = 60% 5h = 50% 6h = 45% 7h = 40% 8h = 35% 9h = 30% Ah = 25% Bh = 20% Ch = 15% Dh = 10% Eh = 5% Fh = 2.5%
27-24.	BRAKE_SPEED_THRES HOLD	R/W	0h	BRAKE 引脚和电机停止选项 ( 低侧制动、高侧制动或对齐制动 ) 的速度阈值 ( 占 MAX_SPEED 的百分比 ) 0h = 100% 1h = 90% 2h = 80% 3h = 70% 4h = 60% 5h = 50% 6h = 45% 7h = 40% 8h = 35% 9h = 30% Ah = 25% Bh = 20% Ch = 15% Dh = 10% Eh = 5% Fh = 2.5%

表 5-23. CLOSED\_LOOP2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
23-19	BRK_CURR_THR	R/W	0h	制动电流限值 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%

## 5.2.8 FAULT\_CONFIG1 寄存器 ( 偏移 = 40h ) [复位 = 00000000h]

用于配置故障设置 1 的寄存器

表 5-24. FAULT\_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-6	RESERVED	R/W	0h	保留
5-2	LCK_RETRY	R/W	0h	锁定检测重试时间 0h = 100ms 1h = 500ms 2h = 1s 3h = 2s 4h = 3s 5h = 4s 6h = 5s 7h = 6s 8h = 7s 9h = 8s Ah = 9s Bh = 10s Ch = 11s Dh = 12s Eh = 13s Fh = 14s
1-0	MTR_LCK_MODE	R/W	0h	电机锁定模式 0h = 电机锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效； 1h = 故障在 LCK_RETRY 时间后自动清除。 2h = 电机锁定处于仅报告模式。 3h = 禁用电机锁定检测

## 5.2.9 FAULT\_CONFIG2 寄存器 ( 偏移 = 44h ) [复位 = 00000000h]

用于配置故障设置 2 的寄存器

**表 5-25. FAULT\_CONFIG2 寄存器字段说明**

位	字段	类型	复位	说明
31-27	RESERVED	R/W	0h	保留
26	LOCK1_EN	R/W	0h	锁定 1：异常速度使能 0h = 禁用 1h = 启用
25	LOCK2_EN	R/W	0h	锁定 2：异常 BEMF 使能 0h = 禁用 1h = 启用
24	LOCK3_EN	R/W	0h	锁定 3：无电机使能 0h = 禁用 1h = 启用
23-21	LOCK_ABN_SPEED	R/W	0h	异常速度锁定阈值 ( 占 MAX_SPEED 的百分比 ) 0h = 130% 1h = 140% 2h = 150% 3h = 160% 4h = 170% 5h = 180% 6h = 190% 7h = 200%
20-18	ABNORMAL_BEMF_THR	R/W	0h	异常 BEMF 锁定阈值 ( 占预期 BEMF 的百分比 ) 0h = 10% 1h = 20% 2h = 30% 3h = 40% 4h = 50% 5h = 60% 6h = 70% 7h = 80%

表 5-25. FAULT\_CONFIG2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
17-13	NO_MTR_THR	R/W	0h	无电机电流限值 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%
12-8	RESERVED	R/W	0h	保留。
7-5	MIN_VM_MOTOR	R/W	0h	运行电机的最小电压 (占 BASE_VOLTAGE 的百分比) 0h = 无限值 1h = 5% 2h = 10% 3h = 12% 4h = 15% 5h = 18% 6h = 20% 7h = 25%
4	MIN_VM_MODE	R/W	0h	欠压故障模式 0h = 欠压锁存 1h = 如果电压处于界定范围之内, 则自动清除

表 5-25. FAULT\_CONFIG2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
3-1	MAX_VM_MOTOR	R/W	0h	运行电机的最大电压 (占 BASE_VOLTAGE 的百分比) 0h = 60% 1h = 65% 2h = 70% 3h = 75% 4h = 80% 5h = 85% 6h = 90% 7h = 最大电压
0	MAX_VM_MODE	R/W	0h	过压故障模式 0h = 过压锁存 1h = 如果电压处于界定范围之内, 则自动清除



## 5.2.10 MISC\_ALGO 寄存器 ( 偏移 = 48h ) [复位 = 00000000h]

用于多种杂项算法配置的寄存器，

表 5-26. MISC\_ALGO 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-20	RESERVED	R/W	0h	保留
19-16	CL_SLOW_ACC	R/W	0h	估算器尚未完全对齐时的闭环加速 0h = 0.1Hz/s 1h = 1Hz/s 2h = 2Hz/s 3h = 3Hz/s 4h = 5Hz/s 5h = 10Hz/s 6h = 20Hz/s 7h = 30Hz/s 8h = 40Hz/s 9h = 50Hz/s Ah = 100Hz/s Bh = 200Hz/s Ch = 500Hz/s Dh = 750Hz/s Eh = 1000Hz/s Fh = 2000Hz/s
15	IPD_HIGH_RESOLUTION_EN	R/W	0h	IPD 高分辨率使能 0h = 禁用 1h = 启用
14	FAST_ISD_EN	R/W	0h	快速初始速度检测使能 0h = 禁用快速 ISD 1h = 启用快速 ISD
13-12	ISD_STOP_TIME	R/W	0h	声明电机已停止的持续时间 0h = 1ms 1h = 5ms 2h = 50ms 3h = 100ms
11-10	ISD_RUN_TIME	R/W	0h	声明电机正在运行的持续时间 0h = 1ms 1h = 5ms 2h = 50ms 3h = 100ms
9-8	ISD_TIMEOUT	R/W	0h	ISD 无法可靠检测速度或方向时超时 0h = 500ms 1h = 750ms 2h = 1000ms 3h = 2000ms
7-5	AUTO_HANDOFF_MIN_BEMF	R/W	0h	切换的最小 BEMF 0h = 0mV 1h = 50mV 2h = 100mV 3h = 250mV 4h = 500mV 5h = 1000mV 6h = 1250mV 7h = 1500mV

表 5-26. MISC\_ALGO 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
4-3	BRAKE_CURRENT_PER SIST	R/W	0h	制动期间电流低于阈值的持续时间 0h = 50ms 1h = 100ms 2h = 250ms 3h = 500ms
2-0	REV_DRV_OPEN_LOOP _DEC	R/W	0h	反向驱动开环减速期间要应用的开环加速度百分比 0h = 50% 1h = 60% 2h = 70% 3h = 80% 4h = 90% 5h = 100% 6h = 125% 7h = 150%

### 5.2.11 PIN\_CONFIG 寄存器 (偏移 = 4Ch) [复位 = 00000000h]

用于配置硬件引脚的寄存器

表 5-27. PIN\_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-20	RESERVED	R/W	0h	保留
19	VDC_FILT_DIS	R/W	0h	Vdc 滤波器禁用 0h = 启用 1h = 禁用
18-3	RESERVED	R/W	0h	保留
2	BRAKE_PIN_MODE	R/W	0h	制动引脚模式 0h = 低侧制动 1h = 对齐制动
1-0	BRAKE_INPUT	R/W	0h	制动引脚覆盖 0h = 硬件引脚制动 1h = 根据 BRAKE_PIN_MODE 覆盖引脚和制动/对齐 2h = 覆盖引脚, 不制动/对齐 3h = 硬件引脚制动

### 5.2.12 PERI\_CONFIG 寄存器 (偏移 = 50h) [复位 = 00000000h]

外设寄存器

表 5-28. PERI\_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-13	RESERVED	R	0h	保留
12-9	MCU_DEAD_TIME	R/W	0h	高侧和低侧开关之间应用的死区时间 = 50ns × MCU_DEAD_TIME

表 5-28. PERI\_CONFIG1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
8-4	BUS_CURRENT_LIMIT	R/W	0h	总线电流限值 (占 CURRENT_BASE 的百分比) 0h = 7.5% 1h = 8.0% 2h = 8.5% 3h = 9.0% 4h = 9.5% 5h = 10% 6h = 11% 7h = 12% 8h = 13% 9h = 14% Ah = 15% Bh = 16% Ch = 17% Dh = 18% Eh = 20% Fh = 22.5% 10h = 25% 11h = 27.5% 12h = 30% 13h = 35% 14h = 40% 15h = 45% 16h = 50% 17h = 55% 18h = 60% 19h = 70% 1Ah = 75% 1Bh = 80% 1Ch = 85% 1Dh = 90% 1Eh = 95% 1Fh = 100%
3	BUS_CURRENT_LIMIT_ENABLE	R/W	0h	总线电流限制使能 0h = 禁用 1h = 启用
2-1	DIR_INPUT	R/W	0h	DIR 引脚覆盖 0h = 硬件引脚 DIR 1h = 通过顺时针旋转 OUTA-OUTB-OUTC 覆盖 DIR 引脚 2h = 通过逆时针旋转 OUTA-OUTC-OUTB 覆盖 DIR 引脚 3h = 硬件引脚 DIR
0	DIR_CHANGE_MODE	R/W	0h	对 DIR 引脚状态变化的响应 0h = 在检测到 DIR 变化时遵循电机停止选项和 ISD 例程 1h = 在持续驱动电机的同时通过反向驱动改变方向

## 6 基本调优

本节旨在帮助用户以最少的配置在闭环中成功使电机旋转。本节提供了对各参数进行调优的标准必要步骤，以确保在闭环中成功使电机旋转。“闭环”定义为无传感器闭环定向控制，其中电机以命令的速度/扭矩基准旋转。

### 6.1 系统配置参数

系统配置定义了与电机控制系统相关的主要参数，用于在闭环扭矩/速度控制模式下启动电机旋转。

#### 6.1.1 从 GUI 配置系统参数

使用 GUI 中的 **System Configuration** 页面配置系统参数，如下所示。如果已在给定系统的固件中对参数进行了编程，则 GUI 页面会在按下 READ ALL REGS 时显示默认编程值。根据下述步骤对这些参数进行相应更新。

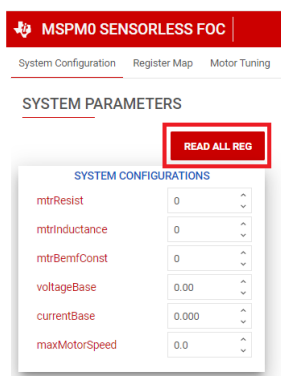


图 6-1. GUI 系统参数配置

#### 6.1.2 以毫欧 (mΩ) 为单位的电机电阻

使用电机数据表，用户可以使用 **System Configuration** 页面中的 *mtrResist* 参数输入电机相电阻（以毫欧 (mΩ) 为单位）。如果电机没有数据表，则使用数字万用表测量任意两相的相间电阻，并通过将相间电阻除以 2 来计算相电阻，如 [方程式 2](#) 所示。

$$\text{Phase resistance} = \text{Measured Phase to Phase Resistance} \times (0.5) \quad (2)$$

电机相电阻是指等效的相位到中心抽头电阻  $R_{PH}$ ，如 [图 6-2](#) 所示。此测量对星形绕组和三角形绕组电机均适用。

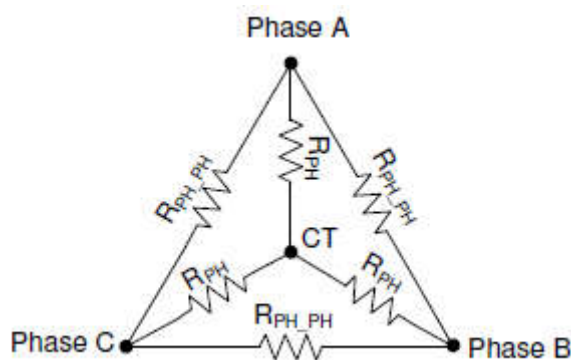


图 6-2. 电阻测量

#### 6.1.3 以微亨 (μH) 为单位的电机电感

从电机数据表中，使用 **System Configuration** 页面中的 *mtrInductance* 参数以微亨 (μH) 为单位输入电机相电感。如需了解电机电感，请使用 LCR 表在 1kHz 频率下测量任意两相的相间电感。通过将相间电感除以 2 来计算相电感，如 [图 6-3](#) 所示。

$$\text{Phase Inductance} = \text{Measured Phase to Phase Inductance} \times (0.5) \quad (3)$$

电机相电感是指从相输出到中心抽头的电感  $L_{PH}$ ，如图 6-3 所示。对于具有不同相间电感的电机，请测量所有三个相间电感，并计算其平均值，然后使用此值作为相间电感。此测量对星形绕组和三角形绕组电机均适用。

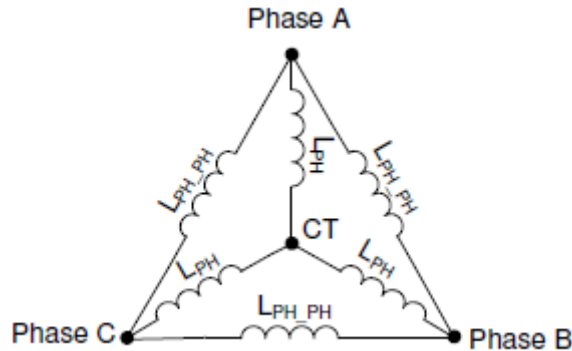


图 6-3. 电感测量

#### 6.1.4 电机 BEMF 常数

使用电机的数据表，用户能够以 mV/Hz 为单位输入电机的 BEMF 常数  $K_e$ ，并在 **System Configuration** 页面上将 `mtrBEMFConst` 编程为  $K_e \times 10$ 。

可以使用下面的方程式 4 和方程式 5 将  $K_e$  (以 mV/rpm、mV\*sec/rad 为单位) 和扭矩常数  $K_t$  转换为  $K_e$  (以 mV/Hz 为单位)。

$$\text{BEMF Constant} \left[ \frac{\text{mV}}{\text{Hz}} \right] = \frac{K_e \left[ \frac{\text{mV}}{\text{RPM}} \right] * 60}{\# \text{ pole pairs}} \quad (4)$$

$$\text{BEMF Constant} \left[ \frac{\text{mV}}{\text{Hz}} \right] = \frac{K_t \left[ \frac{\text{mN} \cdot \text{m}}{\text{A}} \right] * 2\pi}{\# \text{ pole pairs}} \quad (5)$$

如果电机没有数据表，则通过手动旋转电机，使用示波器测量电机任意两相间的电压。示波器上应出现正弦或梯形电压。测量峰值电压  $E_p$  (以毫伏为单位) 和时间段  $T_p$  (以秒为单位)。计算 BEMF 常数  $K_e$ ，如方程式 6 所示。

$$\text{Bemf Constant } K_e = E_p * T_p / \sqrt{3} \quad (6)$$

#### 6.1.5 基极电压 (V)

基极电压表示电机控制系统中可测量的最大总线电压和相位电压。在 **GUI System Configuration** 页面的 `voltageBase` 参数中输入系统基极电压 (以伏特为单位)。用户可以根据电压调节电阻分压器电桥值  $R1$  和  $R2$  以及 3.3V 的满量程 ADC 电压 (FSV) 计算系统基极电压，如方程式 7 中所示。有关分压器调节率的硬件配置，请参阅图 2-3。

$$\text{BaseVoltage} = \frac{\text{ADC Full Scale Value}}{\text{Voltage Divider Scaling Ratio}} = \frac{3.3V}{\frac{R1}{R1 + R2}} \quad (7)$$

例如，在从直流电源电压到 ADC 输入的电桥分压器调节率为 1/20 的系统中，基极电压或 ADC 可测量的最大系统电压为  $3.3V \times (1/20) = 66V$ 。

#### 6.1.6 基极电流 (A)

基极电流表示电机控制系统中可测量的最大电机相电流。用户在 **GUI System Configuration** 页面的 `currentBase` 参数中输入系统基极电流 (以安培为单位)。用户可以根据以伏/安为单位的电流检测放大器增益 (CSAGAIN) 和

3.3V 的满量程 ADC 电压 (FSV) 来计算系统基极电流，如[方程式 8](#) 中所示。在以 1.65V 作为零电流偏移的情况下，考虑使用因数 2 来支持双向电流检测。

$$\text{BaseCurrent} = \frac{\text{ADC Full Scale Value}}{2 * \text{CSAGAIN} \left[ \frac{\text{V}}{\text{A}} \right]} = \frac{3.3\text{V}}{2 * \text{CSAGAIN} \left[ \frac{\text{V}}{\text{A}} \right]} \quad (8)$$

例如，在 CSAGAIN = 0.15V/A 的系统中，基极电流或 ADC 的最大可测量系统电流为 3.3V / (2 × 0.15V/A) = 11A。

#### 备注

在某些驱动器器件中，可通过 I2C 或 SPI 或由硬件使用电阻器值将 CSAGAIN 设置为寄存器。有关如何配置驱动器 CSAGAIN 设置，请参阅驱动器数据表。

如果系统使用电流检测电阻 (R<sub>SENSE</sub>) 和以伏/伏 (V/V) 为单位的 CSAGAIN，则可以使用[方程式 9](#) 计算 CSA 增益 (以伏/安培为单位)。

$$\text{CSAGAIN} \left[ \frac{\text{V}}{\text{A}} \right] = \text{R}_{\text{SENSE}} \times \text{CSAGAIN} \left[ \frac{\text{V}}{\text{V}} \right] \quad (9)$$

### 6.1.7 最大电机频率 (Hz)

使用电机的数据表，用户可以使用 **System Configuration** 页面中的 *maxMotorSpeed* 参数输入最大电机频率 (以 Hz 为单位)。如果此数据不可用，用户可以输入极对数和电机机械转速 (RPM)。用户可以使用[方程式 10](#) 将以 RPM 为单位的电机机械转速转换为以 Hz 为单位的电机频率。

$$f_{\text{Electrical}} = \frac{n_{\text{PolePairs}} \cdot \omega_{\text{Mechanical}}}{60} \quad (10)$$

其中：

- $\omega_{\text{Mechanical}}$  是机械转速，单位为转/分钟 (RPM)
- $f_{\text{Electrical}}$  是频率，单位为赫兹 (Hz)
- $n_{\text{PolePairs}}$  是电机极对数

#### 备注

在没有电机数据表的情况下确定电机极数：

1. 使用实验室电源，并确保电流限制设置为低于电机额定电流。请勿打开电源。
2. 将电源的 V+ 连接到电机的 A 相，将电源的 V- 连接到 B 相。如果三相没有标记，则可以随机选择三相中的任意两相。
3. 打开电源，转子应在注入电流后稳定在一个位置。
4. 手动旋转转子，直到转子对齐到另一个稳定位置。转子在一个机械周期周围的不同位置趋于稳定。
5. 对一次完整机械循环的稳定位置数进行计数，该数字即为极对数。乘以 2 后便可计算出极数。

注意电机内的传动系统。传动比将确定多少转子转数与轴的机械旋转相关联。

## 6.2 基本电机旋转的控制配置

在 GUI 中配置系统参数后，用户可以前往 **Register Map** 页面并配置寄存器映射调优参数，如[图 6-4](#) 中所示。默认情况下，固件具有建议的设置，可以通过按“READ ALL REG”按钮将其读取到 GUI 中。

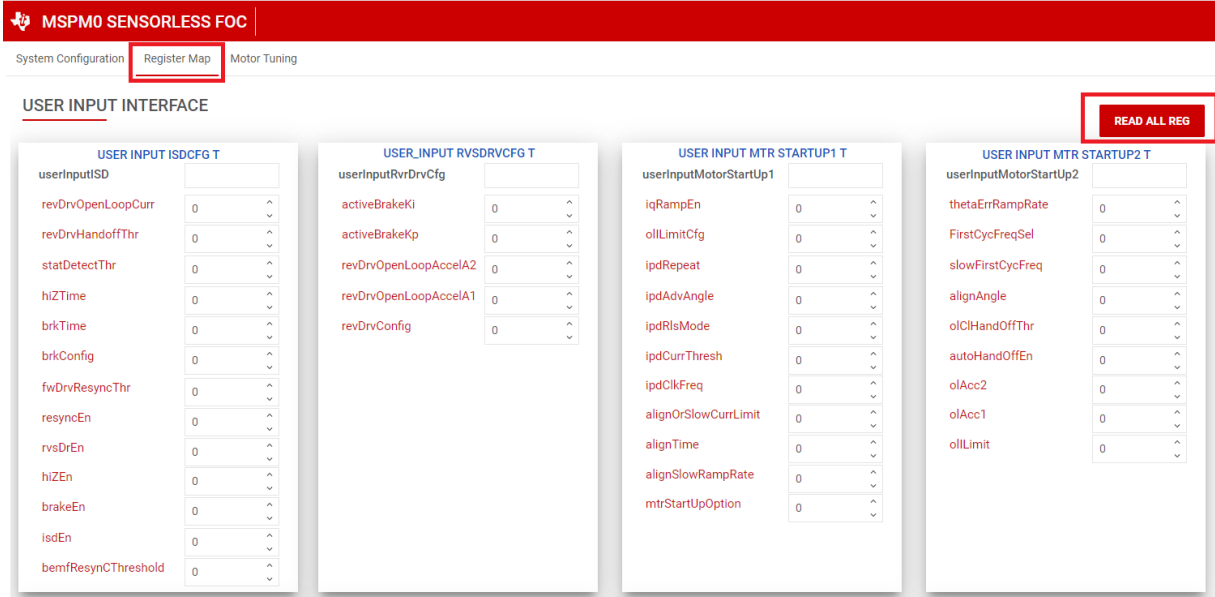


图 6-4. 寄存器映射 GUI 页面

## 6.2.1 基本电机启动

无传感器 FOC 依靠从 BEMF 估算的位置检测来精确驱动电机。启动时，由于电机可能处于停止状态或电机可能以未知速度旋转，因此转子位置未知。

FOC 算法具有多种启动算法，能够以足够的速度可靠地启动电机并使其斜升，或者在切换到用于连续转子位置跟踪的估算器之前估算已在旋转的电机的位置。以下各节介绍了启动电机并使其从静止状态斜升直到开环旋转所需的基本配置。如果在基本开环旋转过程中观察到任何电机故障，请参阅节 6.3。

### 6.2.1.1 禁用 ISD

初始速度检测 (ISD) 功能可在电机已在旋转时自动进入电机。这也称为迎风/顺风启动或实时启动。对于电机的基本旋转，默认情况下会通过 **Register Map** 页面上设置 `isdEn = 0` 来禁用 ISD 功能。对于基本电机调优，电机应在发出速度命令之前处于静止状态。要针对 ISD 调优电机，请参阅节 7。

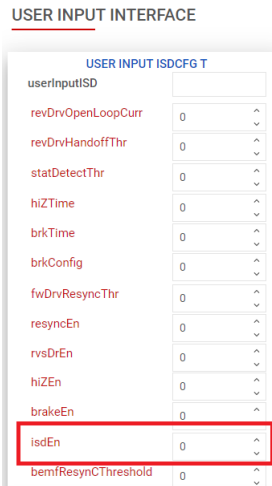


图 6-5. 在 GUI 中禁用 ISD

### 6.2.1.2 电机启动选项 - 对齐

当电机从静止状态斜升时，电机对齐启动算法会强制转子与固定的 **ALIGN\_ANGLE** 对齐，其中定义的电流限制用作预定义 **ALIGN\_TIME** 的扭矩基准。默认情况下，在 **MOTOR\_STARTUP1** 的 **MTR\_STARTUP** 配置中，电机启动选项设置为对齐 (**mtrStartUpOption** = 0b)。对于基本旋转，请使用适用于大多数电机的默认参数。

如果电机未能在给定负载设置下对齐，请在 **Register Map** 页面上增大 **alignOrSlowCurrentLimit** 参数。有关微调电机对齐配置的信息，请参阅 [节 7](#)。

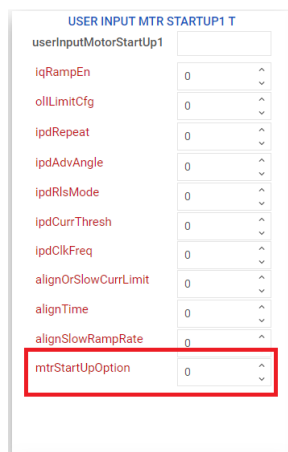


图 6-6. GUI 中的电机启动

### 6.2.1.3 电机开环斜坡

为了准确估算转子位置，电机在切换到闭环之前需要构建足够的 **BEMF**。在启动期间，**FOC** 算法用二阶开环斜坡曲线使电机加速以提高速度，直到建立足够的 **BEMF**。默认情况下，对于电机的基本旋转，开环斜坡参数配置为加速缓慢的线性一阶配置，该配置适用于大多数电机。禁止切换到闭环控制以验证开环的正常功能，方法是在 **Motor Tuning** 页面上的 **ALGO\_DEBUG\_CTRL** 中将 **closedloopDis** 设为 1b。若要进一步优化启动时间，请参阅 [节 7](#) 对启动性能进行微调。

根据电机的负载，一旦启用了闭环，即应将 **OL\_ILIMIT** 调整到尽可能低的值以实现平滑切换 (**closedloopDis** = 0b)。

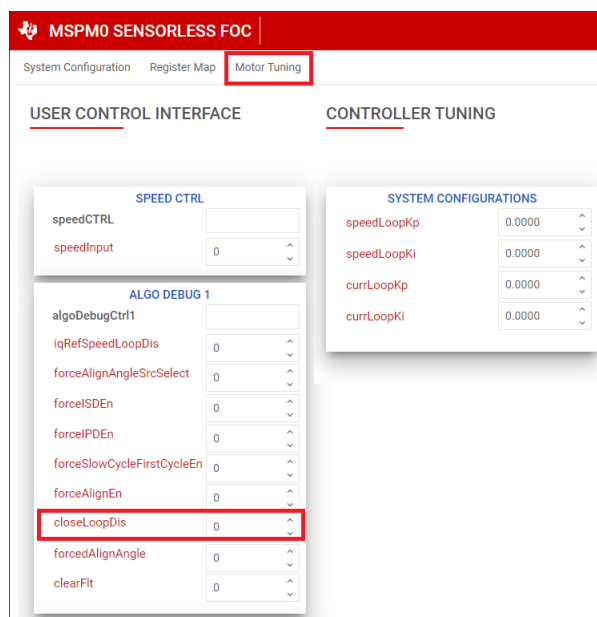


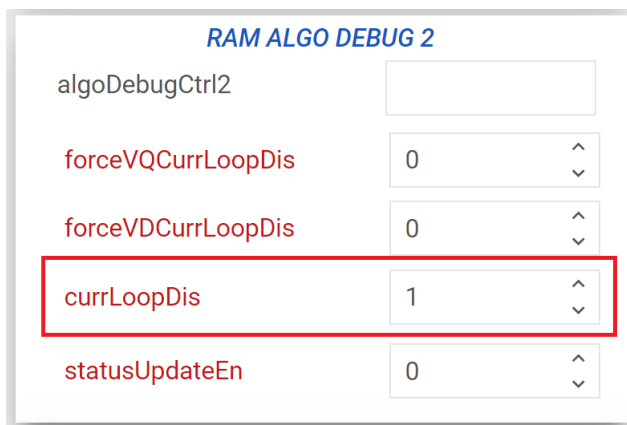
图 6-7. 在 GUI 中设置禁用闭环



#### 6.2.1.4 电机开环调试

如果电机无法在开环中持续旋转，或者电机电流在不旋转电机的情况下振荡，用户可以在 **RAM ALGO DEBUG 2** 参数中对开环配置进行微调。

要验证信号路径或检查电机参数精度，用户可以在 **Register Map** 页面上设置 **currLoopDis** 位并设置 **forceVQCurrLoopDis** 和 **forceVDCurrLoopDis** 来禁用电流环路。



RAM ALGO DEBUG 2	
algoDebugCtrl2	<input type="text"/>
forceVQCurrLoopDis	0
forceVDCurrLoopDis	0
currLoopDis	1
statusUpdateEn	0

图 6-8. 在 GUI 中禁用电流环路

调整 **Vd** 和 **Vq** 值以使电机旋转。一旦电机以恒定速度旋转，请观察 **Motor Tuning** 页面的“User Outputs”部分中的 **Id** 和 **Iq** 输出以检查电流环路的稳定性。

#### 6.2.2 用于在闭环中旋转电机的控制器配置

在电机持续处于开环状态的情况下调节开环后，用户可以通过在 **Motor Tuning** 页面上清除 **ALGO\_DEBUG\_CTRL** 中的 **closedloopDis = 0b** 来切换到闭环。按照以下步骤实现闭环速度控制。

##### 6.2.2.1 针对闭环速度控制的 PI 控制器调优

##### 电流控制器调优

FOC 算法使用两个电流 PI 控制器，每个控制器用于 **Id** 和 **Iq**，分别控制磁通和扭矩。两个 PI 控制器的 **Kp** 和 **Ki** 系数相同，可通过 **Motor Tuning** 页面中的 **currLoopKp** 和 **currLoopKi** 进行配置。

对于基本调优，请将 **currLoopKp** 和 **currLoopKi** 参数配置为“0”，以便根据电机参数自动计算这些值，并反映在 GUI 中 **Motor Tuning** 页面的“User Outputs”部分中。这些值可以进一步更新，以便微调性能和控制系统的动态。

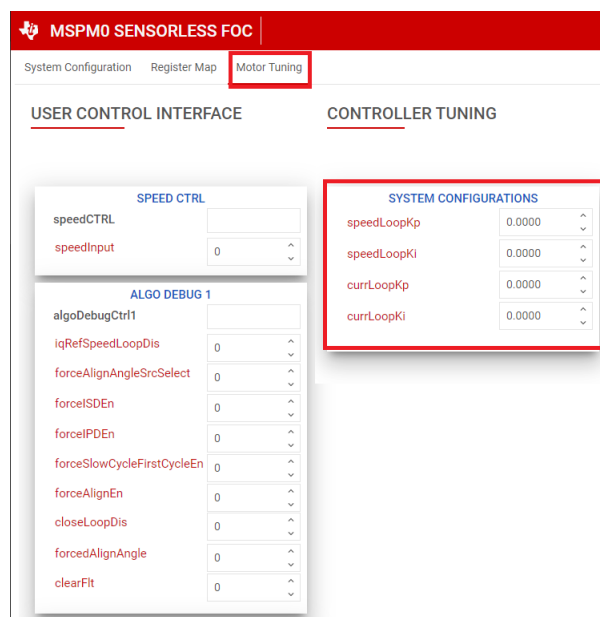


图 6-9. GUI “Motor Tuning” 页面中的 PI 环路调优

### 速度控制器调优

FOC 算法使用集成式速度控制环路，该环路有助于在不同的运行条件下保持恒定的速度。可通过 **Motor Tuning** 页面上“System Configurations”部分中的 *speedLoopKp* 和 *speedLoopKi* 配置 Kp 和 Ki 系数。速度环路的输出用于生成扭矩控制的电流基准。通过在 GUI 的“Register Map”页面中以 *closedLoop1* 配置来配置 *iLIMIT*，可以限制速度环路的输出。当速度环路的输出饱和时，积分器被禁用以防止积分饱和。

要调优速度环路的 Kp 和 Ki 值，请执行以下操作：

1. 通过将 *closedloopDis* 设置为 1b，将电机配置为在开环中持续旋转。通过将 *autoHandOffEn* 设置为 0b 来禁用自动切换。
2. 使用 *olCIHandOffThr* 将闭环切换阈值设置为最大速度的约 50%。
3. 将 *userInputMotorStartUp1* 寄存器中的 *iqRampEn* 位设置为 1b。
4. 电流基准逐渐降低，并稳定至可能的最低 *Iqref*，以便以给定的阈值速度运行。
5. 使用此公式计算速度环路 Kp [SPD\_LOOP\_KP]。Speed Loop  $K_p$  = Current Reference at *olCIHandOffThr* in Amps / *olCIHandOffThr* in Hz
6. 使用此公式计算速度环路 Ki [SPD\_LOOP\_KI]。Speed Loop  $K_i$  = Speed Loop  $K_p \times 0.1$
7. 通过清除 GUI **Register Map** 页面中配置的 *closedloopDIS* to (0b)，启用闭环。

#### 备注

速度环路 Kp 和 Ki 的调优是试验性的。如果上述建议不起作用，则建议手动调优速度环路 Kp 和 Ki，直到实现所需的结果。

下表显示了更改控制器增益的通用指南。

参数	上升时间	过冲	稳定时间	稳态错误	稳定性
Kp	减小	提高	微小变化	减小	降级
Ki	减小	提高	提高	消除	降级

#### 6.2.2.2 测试是否成功启动至闭环

1. 应用非零速命令

将“Speed Input Command”的值更改为非零值。发出速度命令后，器件开始换向，电机以与转速成正比的速度旋转  $\text{Speed Command} \times \text{MAXIMUM MOTOR SPEED} / 32767$ 。

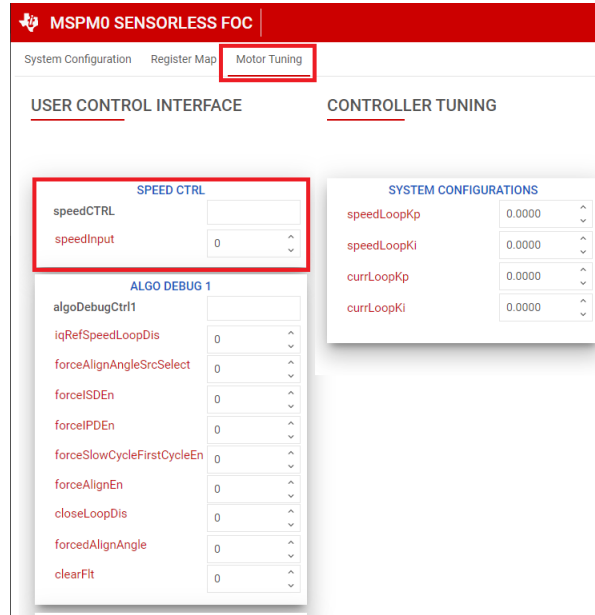


图 6-10. 通过 GUI 设置速度输入

## 2. 检查电机是否以命令的转速在闭环中旋转。

启用 GUI 右下角的“Continuous read status”切换按钮并监控故障状态寄存器。如果未触发任何故障，则转到节 7 部分。

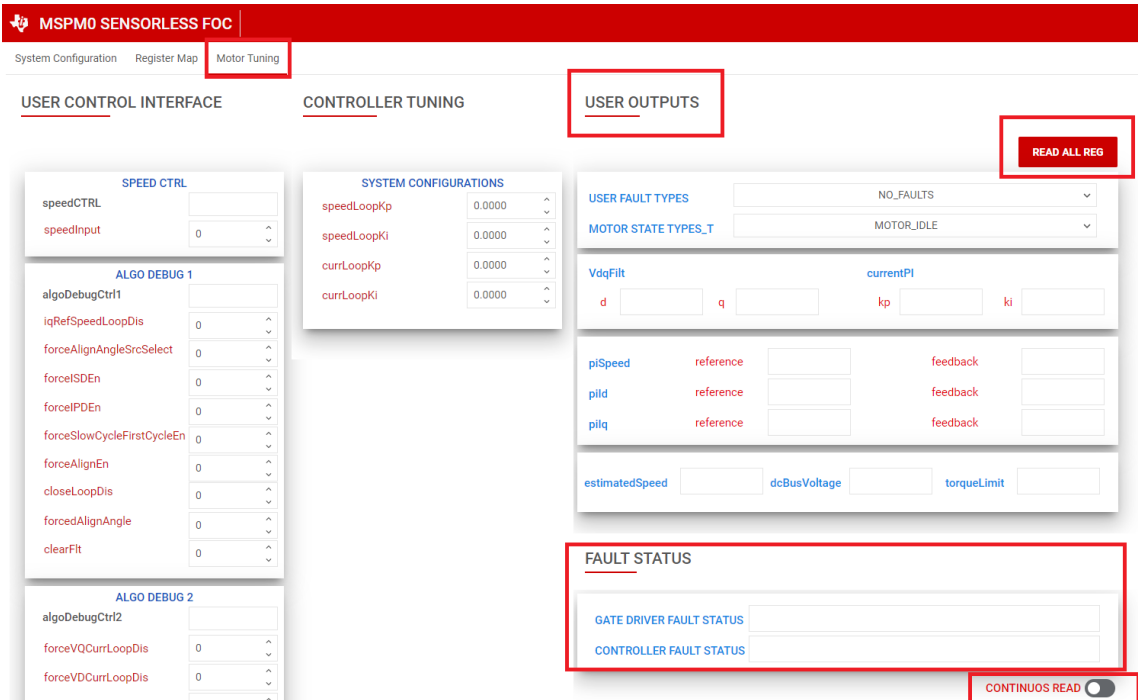


图 6-11. 从 GUI 读取故障状态

## 3. 如果触发了任何故障，请使用以下步骤调整故障处理配置：

- 通过将速度输入命令设置为 0，设置零速命令。
- 通过置位 ALGO DEBUG CTRL1 寄存器中的清除故障位 (ClearFilt) 来清除故障状态寄存器。
- 查看并执行节 6.3 中的步骤来调试故障。

## 6.3 故障处理

以下各节介绍了可根据默认寄存器配置触发的故障。

### 6.3.1 异常 BEMF 故障 [ABN\_BEMF]

当估算的 BEMF 电压降至编程的异常 BEMF 阈值百分比 [ABNNORMAL\_BEMF\_THR] 以下时，会触发此故障。例如，如果估算/测量的  $K_e$  为 5mV/Hz，编程的异常 BEMF 阈值为 40%，则当估算的  $K_e$  降至 2mV/Hz 以下时，将会触发此故障。当编程的  $K_e$  不准确时，也会触发此故障。

BEMF 阈值有两种情况：

**情况 1：**估算的 BEMF 电压随着电机转速的下降而下降。负载动态变化（负载突变）可导致电机转速下降。对于具有动态负载的应用，转速会下降然后恢复。因为转速下降，BEMF 电压也会下降，并触发此故障。对于此类应用，建议将异常 BEMF 阈值设置为 10%，从而避免触发此故障。

**情况 2：**如果编程的  $K_e$  不准确，可能会触发此故障。请按照 MOTOR\_BEMF\_CONSTANT 部分中建议的步骤操作，以便获得准确的  $K_e$ 。

### 6.3.2 监控电源电压波动以防止电压越界故障

在电源有波动的应用中，用户需要指定最小和最大电源电压范围。在欠压情况下，电机可能会在过调制区运行，以实现目标转速，从而导致电流失真、效率低下或噪声。在过压情况下，MOSFET 和电机将持续以高电压运行，从而导致负荷过大。

**调优欠压限制 1：**继续降低电源电压，直到速度下降。测量转速下降时的总线电压，并将 MIN\_VM\_MOTOR 设置为该值。可以配置的最小总线电压范围在 0 至最大 BASE\_VOLTAGE 的 25% 之间。

**调优过压限制：**继续增加总线电压，直到电机相电压达到电机的最大额定电压。MAX\_VM\_MOTOR 将是电机相电压达到电机最大额定电压时的总线电压。可以配置的最大总线电压范围在 60% 至最大 BASE\_VOLTAGE 之间。

---

#### 备注

FOC 算法提供欠压恢复模式 [MIN\_VM\_MODE] 和过压恢复模式 [MAX\_VM\_MODE]。可以将欠压恢复模式配置为自动清除欠压故障 [MTR\_UNDER\_VOLTAGE] 或在发生欠压故障时闭锁。可以将过压恢复模式配置为自动清除过压故障 [MTR\_OVER\_VOLTAGE] 或在发生过压故障时闭锁。

---

### 6.3.3 无电机故障 [NO\_MTR]

当相电流低于基极电流的无电机锁定阈值百分比时，会触发此故障。

**第 1 步：**确保电机相位连接到终端，如“硬件用户指南”中所示。

**第 2 步：**如果故障仍然存在，请降低无电机锁定电流阈值 [NO\_MTR\_THR]。

## 7 高级调优

本节可帮助您以最少的配置成功地在闭环中旋转电机。本节提供了对各参数进行调优的标准必要步骤，以确保在闭环中成功使电机旋转。闭环定义为无传感器闭环，其中，电机以命令速度和扭矩基准旋转。

### 7.1 控制配置调优

#### 7.1.1 对电机进行初始速度检测，以实现可靠的电机重新同步

初始速度检测 (ISD) 功能用于识别电机的初始状态。有必要知道电机的初始状态，才能实现可靠的重新同步。当器件尝试启动电机，而电机正在与预期旋转方向相反的方向滑行或旋转时，可能会发生电机重新同步故障。在需要频繁启动和停止电机的应用中，或者从外部强制运行电机或发生断电时，电机可能会滑行。如果电机相线按错误顺序连接到了 OUTA、OUTB 和 OUTC 或者发出了错误的方向命令，电机可能以与预期旋转方向相反的方向旋转。具有更高惯性的电机滑行的时间会更长。在需要频繁启动和停止电机并使用较高惯性电机的应用中，启用 ISD。

例如，吊式风扇电机由于风扇叶片而具有较高惯性，在停止之前可能会滑行很长时间。

第 1 步：启用 ISD [ISD\_EN]

第 2 步：启用电机 ISD 重新同步 [RESYNC\_EN]

#### 备注

如果电机无法启动：

1. 增大电机静态 BEMF 阈值 [STAT\_DETECT\_THR]。
2. 增大电机静态持续时间 [ISD\_STOP\_TIME]。
3. 增大电机运行持续时间 [ISD\_RUN\_TIME]。
4. 增加最小转速阈值，以重新同步到闭环。

#### 7.1.2 检测反向旋转的单向电机驱动

对于需要在特定方向旋转电机的应用，了解电机是否在与预期旋转方向相反的方向滑行或旋转非常重要。MSPM0 FOC 算法反向驱动功能执行后会使电机反向减速至零速，并在改变方向后加速，直到转入闭环，如图 7-1 所示。

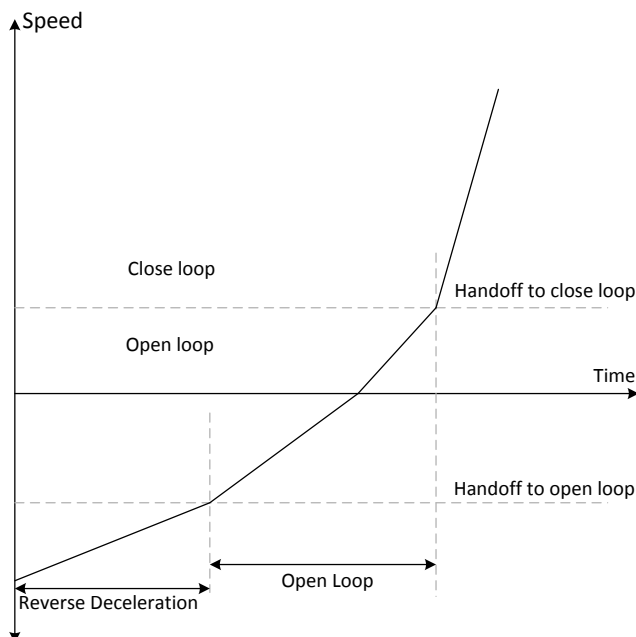


图 7-1. 反向驱动功能

MSPM0 FOC 算法提供了一个选项，可在电机在反方向滑行或旋转时应用制动并停止电机，然后在改变方向后使电机加速至进入闭环。

在吊扇和泵等应用中，必须在特定方向旋转电机，才能获得所需的结果。对于此类应用，请遵循以下建议：

第 1 步：启用 ISD [ISD\_EN]

第 2 步：启用电机 ISD 反向驱动 [RVS\_DR\_EN]

第 3 步：启用反射重新同步 [RESYNC\_EN]

#### 备注

如果电机无法在反方向重新同步，请遵循以下建议：

1. 增加反向减速速度阈值，以转换到开环
2. 启用开环反向驱动配置 [REV\_DRV\_CONFIG]
3. 增加反向驱动开环电流基准 [REV\_DRV\_OPEN\_LOOP\_CURRENT]
4. 减小反向驱动期间的开环加速系数 A1 和 A2

### 7.1.3 在启动期间防止转子回旋

在不接受反向旋转的应用中，可以将初始位置检测算法 (IPD) 功能作为替代方法来启动电机。通过进行适当的 IPD 设置，可以比使用对齐方法更快地启动电机。虽然此功能适用于高惯性电机（比如重叶片，例如吊扇或电器风扇），但它不适用于低惯性电机（比如小叶片，例如计算机风扇），因为电流注入会导致电机抖动，从而造成 IPD 不准确。

对于在启动过程中不接受 IPD 产生声学噪声（“线性调频脉冲”）的应用，请选择“慢速首循环”作为启动方法。

#### 选项 1：IPD

第 1 步：如果选择 IPD 作为启动方法，请在 GUI 的“USER INPUT MTR\_STARTUP1\_T configuration of REGISTER MAP”选项卡中的电机启动选项 [MTR\_STARTUP] 中选择 IPD。

第 2 步：选择 IPD 电流阈值 [IPD\_CURR\_THR]。根据电机的电感饱和点来选择 IPD 电流阈值。电流越高，准确检测初始位置的机率就越高。但是，较高的电流可能会导致转子运动、振动和噪声。建议先设置为电机额定电流的 50%。如果电机启动失败，则增加阈值，直到电机成功启动。请注意，IPD 电流阈值不应高于电机的额定电流。

第 3 步：选择 IPD 时钟值 [IPD\_CLK\_FREQ]。IPD 时钟定义施加 IPD 脉冲的速度。电机电感和电流阈值越高，电流稳定所需的时间就越长，因此需要将时钟设置为较慢的时间。但是，较慢的时钟会使 IPD 噪声更大，持续时间更长，因此我们建议，在 IPD 电流能够完全稳定的前提下，将时钟设置为尽可能快的时间。

#### 备注

如果电机电感非常高或电机未连接，该器件会触发 IPD 超时故障 IPD\_FAULT\_CLOCK\_TIMEOUT。如果触发了此故障，请确保电机连接到器件。如果故障仍然存在，在直流母线电压的任何过冲都可接受的情况下，请将 IPD 释放模式 [IPD\_RLS\_MODE] 设置为三态。

如果 IPD 时钟频率设置得过高，器件会触发 IPD 频率故障 IPD\_FAULT\_DECAY\_TIME。如果触发了此故障，则减小 IPD 时钟值 [IPD\_CLK\_FREQ]。

第 4 步：选择 IPD 超前角 [IPD\_ADV\_ANGLE]。从 90° 开始，以实现最大启动扭矩。如果在启动过程中观察到急冲，请将角度减小到 60° 或 30°，以实现更平稳的启动。

#### 选项 2：慢速首循环

如果选择慢速首循环作为启动方法，请按照下面的步骤操作：



第 1 步：在 GUI 的“Control Configuration - Motor Startup Stationary”选项卡中的电机启动选项 [MTR\_STARTUP] 中选择“Slow first cycle”。

第 2 步：选择对齐或慢速首循环电流基准 [ALIGN\_OR\_SLOW\_CURRENT\_ILIMIT]。较低的电流基准可能使电机失去同步。较高的电流可能导致高惯性电机持续振荡，或导致低惯性电机急冲。建议先设置为电机额定电流的 50%。在启动扭矩较高的应用中，电机可能会失去同步。在此类应用中，请增大电流基准。在观察到持续振荡或急冲的应用中，请减小电流基准。

第 3 步：选择对齐或慢速首循环电流斜升速率 [ALIGN\_SLOW\_RAMP\_RATE]。斜升电流基准可避免电机反向旋转。较低的电流斜升速率可能使电机失去同步。较高的电流斜升速率可能导致高惯性电机持续振荡，或导致低惯性电机急冲。建议先将斜升时间设置为 0.5 秒，以斜升到电机的额定电流。在启动扭矩较高的应用中，电机可能会失去同步。在此类应用中，请增加电流斜升速率。在观察到持续振荡或急冲的应用中，请减小电流斜升速率。

第 4 步：选择首循环的频率 [SLOW\_FIRST\_CYC\_FREQ]。较低的频率可能在启动时产生急冲。较高的频率可能无法同步电机。建议先设置为电机最大转速的 20%。在启动扭矩较高的应用中，电机可能会失去同步。在此类应用中，请降低频率。在观察到急冲的应用中，请增加频率。

#### 7.1.4 逐渐和平稳启动动作

对于需要慢速和逐渐启动以在转换期间降低速度过冲的应用，请遵循以下建议：

第 1 步：减小开环加速系数 A1 [OL\_ACC\_A1] 和开环加速系数 A2 [OL\_ACC\_A2]。

第 2 步：转换到闭环后启用 I<sub>q</sub> 斜降 [IQ\_RAMP\_EN]

如果出现速度过冲，请降低斜升速率，以减小估算的  $\theta$  与开环  $\theta$  之间的差值 [THETA\_ERROR\_RAMP\_RATE]。

#### 7.1.5 缩短启动时间

启动时间是指电机从零速达到目标速度所需的时间。对于需要较短启动时间的应用，我们建议选择初始位置检测 (IPD) 或慢速首循环作为启动方法。

##### 选项 1：初始位置检测 (IPD)

第 1 步：选择 IPD [MTR\_STARTUP] 作为电机启动方法。

第 2 步：将 IPD 电流阈值 [IPD\_CURR\_THR] 提高到电机的额定电流。

第 3 步：将 IPD 时钟值 [IPD\_CLK\_FREQ] 提高到更高的频率，在此值条件下，器件不会触发 IPD 频率故障。有关更多详细信息，请查看节 7.1.3 (第 3 步)。

第 4 步：为 IPD 重复次数 [IPD\_REPEAT] 选择 1 次。

第 5 步：选择开环电流限制 [OL\_ILIMIT]，使其与扭矩 PI 环路电流限制 [ILIMIT] 相同。

##### 备注

将电流限制配置为高于电机失速电流的值时，可能会导致电机过热或损坏。

第 6 步：增加开环加速系数 A1 [OL\_ACC\_A1] 和开环加速系数 A2 [OL\_ACC\_A2]。

第 7 步：为用于转换的最小 BEMF [AUTO\_HANDOFF\_MIN\_BEMF] 选择 0mV。

如果器件触发异常 BEMF [ABN\_BEMF] 故障，则建议增加 [AUTO\_HANDOFF\_MIN\_BEMF]。

第 8 步：继续增加斜升速率，以将估算的  $\theta$  与开环  $\theta$  之间的差值减小至 2deg/ms。

第 9 步：增加闭环加速率 [CL\_ACC]

##### 选项 2：慢速首循环

第 1 步：在 [MTR\_STARTUP] 中选择慢速首循环作为电机启动方法。

第 2 步：选择对齐或慢速首循环电流限制 [ALIGN\_OR\_SLOW\_CURRENT\_ILIMIT]，使其与扭矩 PI 环路电流限制 [ILIMIT] 相同。

第 3 步：继续增加对齐或慢速首循环电流斜升速率 [ALIGN\_SLOW\_RAMP\_RATE]，直到开环电流达到电机额定电流的 100%。

第 4 步：按选项 1 中的第 5 步至第 9 步操作。

### 7.1.6 快速停止电机

对于需要快速停止电机的应用，建议将电机停止选项 [MTR\_STOP] 配置为低侧制动：

第 1 步：将电机停止选项 [MTR\_STOP] 配置为低侧制动。

第 2 步：选择制动引脚和电机停止选项的速度阈值。将速度阈值设置为较高的速度将导致 FET 承载大电流。将速度阈值设置为较低的速度将延长电机的停止时间。建议从最大转速的 50% 开始，如果电机相电流超过 FET 的最大额定电流，则减小阈值。如果停止时间过长，则建议在不达到最大电流限值的情况下增大阈值。

### 7.1.7 在电机停止期间防止电源电压过冲。

对于需要在电机停止期间防止电源电压过冲的应用，请选择主动降速作为电机停止选项。在不需要快速停止，但接受一定量的电感能量回输到电源的应用中，可以使用主动降速作为电机停止选项。

第 1 步：将电机停止选项 [MTR\_STOP] 配置为主动降速

第 2 步：配置主动降速速度阈值 [ACT\_SPIN\_THR]。建议将 ACT\_SPIN\_THR 设置为最大转速的 50%。如果电源发生电压过冲，请减小 ACT\_SPIN\_THR，直到电压过冲达到可接受的限制。

### 7.1.8 保护电源

在电池供电应用或电源内未内置过流或过压保护装置的应用中，保护电源，以防消耗较高的电流或发生潜在的电压过冲非常重要。

第 1 步：当电机上的负载增加时，器件会从电源消耗较高的电流。要限制从电源消耗的电流，请启用总线电流限制 [BUS\_CURRENT\_LIMIT\_ENABLE] 并配置总线电流限制 [BUS\_CURRENT\_LIMIT]，以保护电源，避免消耗较高的电流。

例如，需要限制从电池等电源消耗的电流，因为电池寿命取决于充电或放电周期数。启用总线电流限制将会限制电机转速，从而限制电源电流。

第 2 步：当发出让电机减速的命令后，根据减速率，来自电机的能量将会泵回到电源，从而将电源电压提升到对于电子器件来说可能不安全的水平。启用抗电压浪涌 [AVS] 可保护电源避免电压过冲，它会覆盖由任何其他寄存器设置的任何减速限制，并自动应用安全的减速率。

图 7-2 展示了禁用 AVS 时的电源电压过冲。电机以 7000Hz/s 的减速率将占空比从 100% 降至 10%。图 7-3 展示了启用 AVS 时电源电压无过冲。

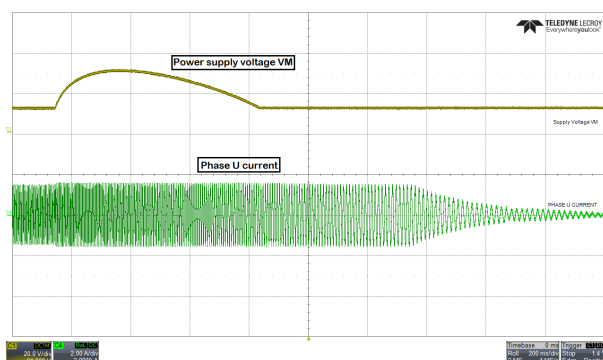


图 7-2. 禁用 AVS 时的电源电压和相电流波形

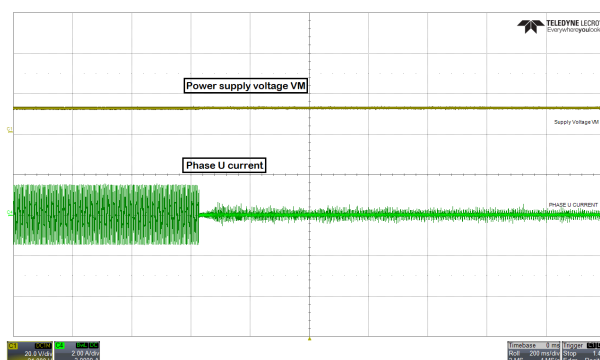


图 7-3. 启用 AVS 时的电源电压和相电流波形



## 7.2 硬件配置

### 7.2.1 方向配置

FOC 算法允许您使用基于寄存器的方向配置来设置电机的方向：

- 基于寄存器的方向配置

电机旋转方向可根据寄存器设置进行设置，如下所示。

**DIR\_INPUT 01b**：应用相位序列 OUT A → OUT B → OUT C。

**DIR\_INPUT 10b**：应用相位序列 OUT A → OUT C → OUT B。

### 7.2.2 制动配置

FOC 算法使用户能够在各种情况下制动电机。可以通过 **BRAKE\_PIN\_MODE** 将制动状态配置为低侧制动 (Low-Side Braking) 或对齐制动 (Align Braking)。FOC 算法会在进入制动状态之前将输出速度降至由 **BRAKE\_SPEED\_THRESHOLD** 定义的值。只要 **BRAKE** 驱动为“高电平”，电机就会保持在制动状态。可通过以下方式实现制动功能：

- 基于寄存器的制动配置。

用户可以使用如下所示的寄存器设置来配置 **PIN\_CONFIG** 寄存器中的 **BRAKE\_INPUT**，以应用制动器。

- **BRAKE\_INPUT - 1b**：根据 **BRAKE\_PIN\_MODE** 覆盖引脚和制动/对齐
- **BRAKE\_INPUT - 10b**：覆盖引脚，不制动/对齐

### 7.2.3 实时变量跟踪

可通过 DAC 从 MCU 实时输出 32 位算法变量。通过设置 **DAC\_EN = 1** 来启用 DAC 输出。MSPM0 中的 DAC 为 12 位，因此需要在输出之前应用调节。在输出前，用户有两种缩放变量的方法。

- 对于全局 IQ 格式的变量 (IQ27)：

$$DAC\_OUTPUT\_VOLTAGE = (VARIABLE\_VALUE \times DAC\_SCALING\_FACTOR + 1) \times 1.65V$$

在上面的公式中，将 **DAC\_SCALING\_FACTOR** 设置为 1 使用户能够在 0V 至 3.3V 范围内表示 IQ(1.0) 至 IQ(-1.0) 的数据。要表示超过值 1.0 的数据，请使用更高的 **DAC\_SCALING\_FACTOR**。

例如：要表示 -2.0 至 +2.0 范围内的数据，请将 **DAC\_SCALING\_FACTOR** 设置为 0.5。

- 对于其他 IQ 格式的变量：

对于任何其他 IQ 的输出，用户可以左移位或右移变量，以在输出之前将数据置于 12 位范围内。可以通过将 **DAC\_SCALING\_FACTOR** 设置为 0 来选择此模式。

如果变量值小于 12 位值，请将 **DAC\_SCALE** 设置为正，DAC 输出如下：

$$DAC\_OUTPUT\_VOLTAGE = (VARIABLE\_VALUE \ll DAC\_SCALE) \times 3.3V$$

如果变量值大于 12 位值，请将 **DAC\_SCALE** 设置为负，DAC 输出如下：

$$DAC\_OUTPUT\_VOLTAGE = (VARIABLE\_VALUE \gg DAC\_SCALE) \times 3.3V$$

#### 备注

通过设置 **DAC\_EN = 1**，可将变量输出馈送到 DAC 寄存器，但用户需要在 TI SysConfig 中启用 DAC 外设，以便 DAC 外设正常运行。此外，确保 DAC 输出引脚未被任何其他外设载入。

表 7-1. 用于 DAC 监控的地址表

变量	地址
A 相电流	0x202001B0
B 相电流	0x202001B4
C 相电流	0x202001B8
A 相电流原始 ADC 值	0x202001BC

表 7-1. 用于 DAC 监控的地址表 (续)

变量	地址
B 相电流原始 ADC 值	0x202001C0
C 相电流原始 ADC 值	0x202001C4
A 相电压	0x20200208
B 相电压	0x2020020C
C 相电压	0x20200210
A 相电压原始 ADC 值	0x20200214
B 相电压原始 ADC 值	0x20200218
C 相电压原始 ADC 值	0x2020021C
D 轴电流	0x202002D0
Q 轴电流	0x202002D4
D 轴电压	0x202002D8
Q 轴电压	0x202002DC
滤波后的估算电机转速	0x20200700
估算的转子角度	0x20200708
SVM 输出占空比 A 相	0x202002A4
SVM 输出占空比 B 相	0x202002A8
SVM 输出占空比 C 相	0x202002AC

## 8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	说明
March 2024	*	初始发行版

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司