

TMC2240具有 S/D 和 SPI 的 36V 2ARMS+ 智能集成步进驱动器

非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

一般说明

TMC2240 是一款智能高性能步进电机驱动器 IC，具有串行通信接口（SPI、UART）和广泛的诊断功能。

它结合了业界最先进的基于 256 微步的步进电机驱动器、内置分度器和两个完全集成的 36V、3.0AMAXH-电桥加上非耗散集成电流感应 (ICS)。

ADI-Trinamic 的 StealthChop2 斩波器可确保绝对无噪音的运行以及最高效率和最佳电机扭矩。

高集成度、高能效和小外形尺寸可实现小型化和可扩展的系统，从而实现经济高效的解决方案，同时提供一流的性能。

H 桥 FET 具有非常低的阻抗，因此驱动效率高且产生的热量最少。典型的总 R_{ON} （高侧 + 低侧）为 0.23Ω 。

假设采用四层 PCB，室温下每个 H 桥的最大 RMS 电流为 $I_{RMS} = 2.1A_{RMS}$ 。

每个 H 桥的最大输出电流为 $I_{MAX} = 5.0A_{MAX}$ ，受过流保护 (OCP) 限制。

每个 H 桥的最大满量程电流为 $I_{FS} = 3.0A$ ，可以通过连接到 IREF 的外部电阻进行设置。

该电流被定义为嵌入式电流驱动调节电路的最大电流设置。非耗散型 ICS 消除了笨重的外部功率电阻器，与基于外部检测电阻器的主流应用相比，可显著节省空间和功耗。

TMC2240 具有丰富的诊断和保护功能，例如短路保护 /OCP、热关断、欠压锁定 (UVLO)。

在热关断和 UVLO 事件期间，驱动器被禁用。

此外，TMC2240 还提供测量驱动器温度、估算电机温度以及测量一个外部模拟输入的功能。

TMC2240 采用小型 TQFN32 5mm x 5mm 封装和带裸露焊盘的热优化 TSSOP38 9.7mm x 4.4mm 封装。

应用领域

- 纺织、缝纫机、针织机
- 实验室和工厂自动化
- 3D 打印机、ID 打印机/证卡打印机

- 液体处理、医疗应用
- 办公自动化和纸张处理
- POS、按摩椅
- ATM、现金循环机、钞票验证器、提款机
- 闭路电视、安全
- 泵和阀门控制
- 定日镜和天线定位

优点和特点

- 电压范围 4.5V 至 36V 直流
- 低 $R_{DS(ON)}(HS + LS)$: $230m\Omega$ 典型值 ($T_A = 25^\circ C$)
- 每个 H 桥的额定电流 ($25^\circ C$ 时的典型值):
 - $I_{MAX} = 5.0A$ (电桥峰值电流)
 - $I_{RMS} = 2.1A_{RMS}$ (3A 正弦波峰值)
- 全集成无损电流感应
- 带 MicroPlyer 步进插值的步进/方向 (S/D) 接口
- SPI 和单线 UART
- 增量编码器接口
- 最高分辨率每整步 256 微步
- 灵活的波表和相移以匹配电机
- StealthChop2 静音电机操作
- SpreadCycle 高动态电机控制斩波器
- StealthChop2 和 SpreadCycle 的无冲击组合
- StallGuard2 和 StallGuard4 无传感器电机负载检测
- CoolStep 电流控制可节能高达 75%
- 被动制动和续流模式
- 电机相位和芯片温度测量
- 通用模拟输入
- 全面的保护和诊断
- 过压保护输出
- 紧凑型 5mm x 5mm TQFN32 封装或 9.7mm x 4.4mm TSSOP38

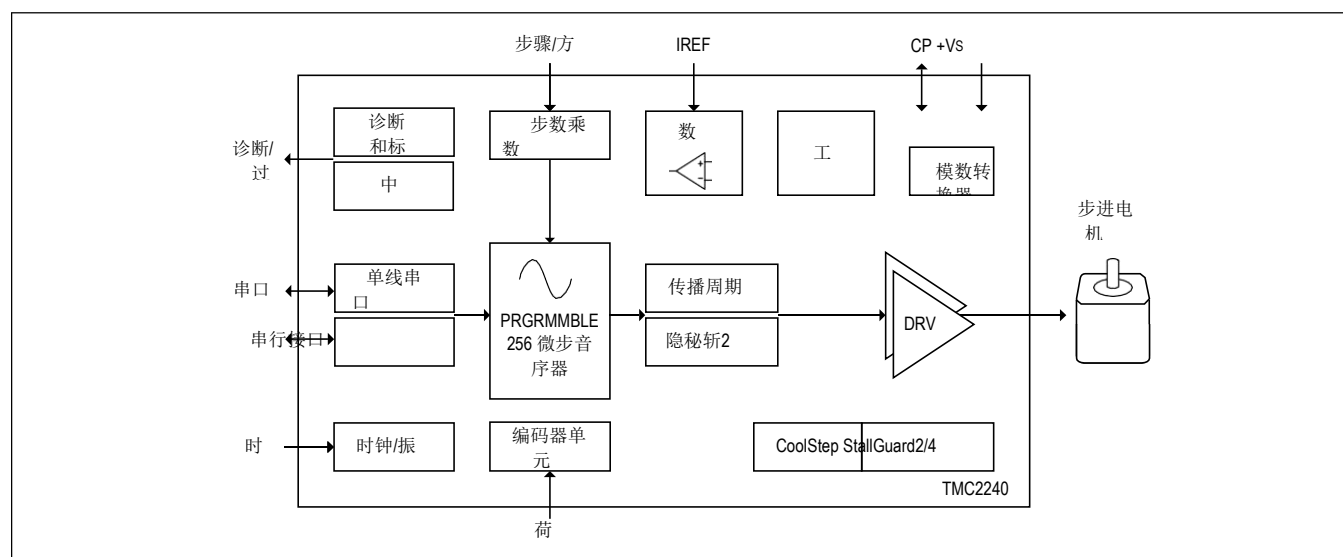
非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

订购信息出现在数据表末尾。

19-101548; 修订版 1; 2/23

© 2023 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标是其各自所有者的财产。One Analog Way, 威尔明顿, MA 01887 美国|

电话: 781.329.4700 | © 2023 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。



简化框图

目录

概述 1

应用 1

优点和特性 1

简化框图 2

绝对最大额定值 9

封装信息 9

 TQFN32 5mm x 5mm 9

 TSSOP38 9.7mm x 4.4mm EP 9

电气特性 9

引脚配置 14

 TMC2240 TQFN 引脚配置 14

 TMC2240 TSSOP 引脚配置 14

引脚说明 15

功能图 18

 TMC2240 18

详细说明 19

 操作原理 19

 具有串行接口和诊断反馈的步进和方向驱动器 19

 关键概念 20

 控制接口 20

 步进和方向接口 20

 自动停机断电 20

 StealthChop2 和 SpreadCycle 驱动程序 21

 StallGuard2/4 - 机械负载传感 21

 CoolStep - 负载自适应电流控制 21

 编码器接口 22

 SPI 接口 22

 SPI 数据报结构 22

 写入/读取选择 (WRITE_notREAD) 22

 每个数据报读回时传输的 SPI 状态位 23

 数据对齐 23

 SPI 信号 23

 SPI 时序 24

 UART 单线接口 24

 数据报结构 24

 写访问 24

TMC2240	36V 2A	非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
读取访问 25	18868876685@139.com	联系
CRC 计算 25	RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器	
CRC 计算的 C 代码示例 26		

目录（续）

UART 信号 26
寻址多个节点 26
步进/方向接口 27
时间 27
更改分辨率 28
MicroPlyer 步进插补器和静止检测 29
StealthChop2 30
自动调谐 30
StealthChop2 选项 31
StealthChop2 电流调节器 33
电流下限 35
基于速度的缩放 36
结合 StealthChop2 和 SpreadCycle 37
StealthChop2 39 中的标志
打开加载标志 39
PWM_SCALE_SUM 通知电机状态 39
惯性滑行和被动制动 39
控制 StealthChop2 40 的参数
SpreadCycle 和 Classic Chopper 41
SpreadCycle 斩波器 43
经典恒定关断时间斩波器 45
集成电流检测 46
设置电机电流 46
设置满量程电流范围 47
基于速度的模式控制 48
StallGuard2 负载测量 50
StallGuard2 更新率和过滤器 52
检测电机失速 52
使用 StallGuard2 归位 52
StallGuard2 操作的限制 52
StallGuard4 负载测量 52
调整 StallGuard4 54
StallGuard4 更新率 54

TMC2240	36V 2A	非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
检测电机失速 55	18868876685@139.com	联系
StallGuard4 操作的限制 55		
带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器		
CoolStep 负载自适应电流调节 55		
设置 CoolStep 55		
调整 CoolStep 57		
响应时间 57		

目录（续）

低速和待机操作 57
诊断输出 57
正弦波查找表 59
微步表 59
ABN 增量编码器接口 61
设置编码器以匹配电机分辨率 63
复位、禁用/停止和断电 63
紧急停止 63
外部复位和睡眠模式 63
重新启动步进电机而不丢失位置 64
保护和驱动程序诊断 64
过流保护 65
热保护和关断 65
温度测量 65
芯片温度测量 65
电机温度测量 65
过压保护和 OV 引脚 66
短路保护（接地短路和 VS 短路） 66
开路负载诊断 67
欠压锁定保护 67
ESD 保护 67
外部模拟输入 AIN 监控 67
时钟振荡器和时钟输入 68
使用内部时钟 68
使用外部时钟 68
快速配置指南 68
当前设置 69
StealthChop2 配置 70
SpreadCycle 配置 71

TMC2240

36V 2A

非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与1868876885@qq.com联系

与 StealthChop2 结合使用 CoolStep

与 SpreadCycle 73 结合使用 CoolStep

通用寄存器映射和寄存器信息

寄存器映射

TMC2240

寄存器详细信息

典型应用电路

标准应用电路

高电机电流

驱动器保护和 EME 电路

73

75

75

79

124

124

124

124

目录（续）

订购信息

修订历史

126

127

附图列表

- 图 1。框图 18
- 图 2。具有典型外部元件的框图 19
- 图 3。静止和加速时的自动电机电流控制 21
- 图 4。SPI 时序图 24
- 图 5。UART 菊花链示例 27
- 图 6。STEP/DIR 信号时序 28
- 图 7。STEP/DIR 信号输入滤波器结构 28
- 图 8。MicroPlyer 微步插值，步进频率上升（示例：16 至 256） 30
- 图 9。StealthChop2 自动调谐程序 32
- 图 10。StealthChop2: PWM_REG 33 的良好设置
- 图 11。StealthChop2: AT#2 期间 PWM_REG 设置过小 34
- 图 12。成功确定 PWM_GRAD(_AUTO) 和 PWM_OFS(_AUTO) 34
- 图 13。太小的 PWM_GRAD 设置 35 的示例
- 图 14。基于速度的 PWM 缩放（pwm_autoscale = 0） 37
- 图 15。TPWMTHRS 用于可选切换到 SpreadCycle 38
- 图 16。典型斩波衰减阶段 42
- 图 17。SpreadCycle 斩波器方案显示斩波周期 44 期间的线圈电流
- 图 18。带有偏移的经典恒定关断时间斩波器，显示线圈电流 45
- 图 19。使用经典斩波器过零并使用正弦波偏移 46 进行校正
- 图 20。速度相关模式的选择 49
- 图 21。StallGuard2 功能原理 51
- 图 22。StallGuard4 操作模式 53
- 图 23。CoolStep 根据负载调整电机电流 56
- 图 24。DIAG0 和 DIAG1 输出选项 58
- 图 25。线圈 B 微步波正零转换时的索引信号（在开漏配置中） 59
- 图 26。LUT 编程示例 60
- 图 27。通过 OFFSET_SIN90 平移余弦波 61
- 图 28。增量编码器的 ABN 信号概述 62
- 图 29。制动斩波器电路示例 66
- 图 30。当前设置快速配置指南 69
- 图 31。StealthChop2 配置快速配置指南 70
- 图 32。SpreadCycle 71 快速配置指南
- 图 33。使用 StealthChop2 的 CoolStep 快速配置指南 72
- 图 34。CoolStep 与 SpreadCycle 73 快速配置指南
- 图 35。标准应用电路 124
- 图 36。简单 ESD 增强 125
- 图 37。扩展电机输出保护 126

表格列表

表 1。SPI 数据报结构 22

表 2。SPI 读/写示例流程 23

表 3.SPI_STATUS - 每次 SPI 访问时发送的状态标志位 39 至 32 23

表 4.UART 写访问数据报结构 24

表 5.UART 读访问请求数据报结构 25

表 6.UART 读访问回复数据报结构 25

表 7.TMC2240 UART 接口信号 26

表 8.寻址最多 255 个节点的 UART 示例 27

表 9.A/B 相线圈电流的全步/半步查找表值 29

表 10.StealthChop2 自动调节 AT#1 和 AT#2 的约束和要求 30

表 11.StealthChop2 的 PWM 频率选择（粗体 = 推荐） 32

表 12.控制 StealthChop2 40 的参数

表 13.控制 SpreadCycle 和经典恒定关断时间斩波器的参数 42

表 14.SpreadCycle 模式参数 44

表 15.控制恒定关断时间斩波模式的参数 46

表 16.控制电机电流的参数 46

表 17.IFS满量程峰值范围设置（以 RREF= 12k Ω 为例） 47

表 18.IFS基于 DRV_CONF 位 1..0 设置和不同的以安培为单位的满量程 RMS 电流 (A RMS)
R参考48

表 19.基于速度的模式控制参数 50

表 20。StallGuard2 相关参数 51

表 21.StallGuard4 相关参数 53

表 22.CoolStep 关键参数 55

表 23.CoolStep 其他参数和状态信息 56

表 24.具有 256 个微步的 200 全步电机的编码器设置示例 63

表 25.位置恢复方法 64

表 26.基于满量程电流设置的过流保护阈值 67

表 27。寄存器映射概述 74

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

绝对最大额定值

VS至 GND V 至 41V
VDD1V8至 GND V 至最小值 (2.2, VS+ 0.3)V
AGND 至 GNDV 至 +0.3V
OUT1A、OUT2A、OUT1B、OUT2B V 至 VS+ 0.3V
VCP至 GND VS- 0.3V 至最小值 (44, VS+ 6)V
CPO 至 GND VS- 0.3V 至最小值 (44, VS+ 6)V
CPI 至 GND V 至最小值 (41, VS+ 0.3)V
休眠至 GND V 至 VS+ 0.3V

IREF、AIN 至 GND V 至最小值 (2.2, VDD1V8+ 0.3)V
VCC_IO至 GND V 至 5.5V
逻辑输入/输出电压至 GND V 至 VCC_IO+ 0.3V
OV 至 GNDV 至 6V
工作温度范围..-40° C 至 125° C
结温+165° C
储存温度范围..-65° C 至 +150° C
焊接温度（回流焊）+260° C

超出“绝对最大额定值”列出的应力可能会对设备造成永久性损坏。这些只是压力额定值，并不意味着器件在这些条件或超出规范操作部分中指示的任何其他条件下可以正常运行。长时间暴露在绝对最大额定值条件下可能会影响器件的可靠性。

套餐信息

TQFN32 5mm x 5mm

封装代码	T3255+5C
概要编号	21-0140
焊盘图案编号	90-0013
热阻，单层板：	
结点至环境 (θ JA)	47° C/西
结到外壳 (θ JC)	1.7° C/瓦
热阻，四层板：	
结点至环境 (θ JA)	29° C/西
结到外壳 (θ JC)	1.7° C/瓦

TSSOP38 9.7mm x 4.4mm EP

封装代码	U38E+3C
概要编号	21-0714
焊盘图案编号	90-0435
热阻，四层板：	
结点至环境 (θ JA)	25° C/瓦
结到外壳 (θ JC)	1° C/瓦

有关最新封装外形信息和焊盘图案（封装），请访问www.maximintegrated.com/packages。请注意，封装代码中的“+”、“#”或“-”仅表示 RoHS 状态。封装图纸可能会显示不同的后缀字符，但无论 RoHS 状态如何，该图纸都属于封装。

封装热阻是通过 JEDEC 规范 JESD51-7 中描述的方法使用四层板获得的。有关封装散热注意事项的详细信息，请参阅[www.maximintegrated.com/ Thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/Thermal-tutorial)。

电气特性

(VS= 4.5V 至 36V, RREF= 从 12k Ω 至 24k Ω, 典型值假定 TA= 25° C 和 VS= 24V, 限值在 TA下进行 100% 测试] = +25° C。工作温度范围和相关电源电压范围的限制由设计和特性保证。)

范围	象征	状况	最小值 典型值 最大值	单位
电源				
电源电压范围	VS		4.5 36	V
睡眠模式电流消耗	我VS	V(休眠) = 0	4 18	微安

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系
RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

电气特性（续）

(VS= 4.5V 至 36V, RREF= 从 12kΩ 至 24kΩ, 典型值假定 TA= 25° C 和 VS= 24V, 限值在 TA下进行 100% 测试] = +25° C。工作温度范围和相关电源电压范围的限制由设计和特性保证。)

范围	象征	状况	最小	典型值	最大限度	单位
静态电流消耗	我VS	V(休眠) = 1, V(DRV_ENN) = 1		3.5	5	嘛
1.8V 稳压器输出电压	VVDD	VS= 4.5V		1.8		V
VDD电流限制	IV18LIM		20			嘛
电荷泵电压	VCP			VS+ 2.7		V
逻辑 I/O 电源电压范围	VCC_IO		2.2		5.5	V
睡眠模式电流消耗	IVCC_IO	V(休眠) = 0		5	10	微安
静态电流消耗	IVCC_IO	V(休眠) = 1		35	60	微安
逻辑电平输入-输出						
输入电压电平 - 高	VIH		0.7 x VCC_IO			V
输入电压电平 - 低	VIL			0.3 x VCC_IO		V
输入迟滞	VHYS			0.15 x VCC_IO		V
内部上拉/下拉电阻	R拉	至 GND 或至 VCC_IO	60	100	140	千欧姆
输入漏电流	在泄漏	输入无上拉/下拉电阻	-1		+1	微安
输出逻辑低电压	VOL	I负载= 5mA			0.4	V
推挽输出逻辑 - 高电压	VOH	I负载= 5mA	VCC_IO-400mV			
开漏输出逻辑高漏电流	我OH	V（引脚）= 5.5V	-1		+1	微安
睡眠电压高电平	VIH睡眠		0.9			V
睡眠电压低电平	VIL睡眠				0.6	V
睡眠下拉输入电阻	RPD睡眠		0.8	1.5		兆欧姆
输出规格						
输出导通电阻低侧	RONLS	满量程位 = 10		0.11	0.2	Ω
		满量程位 = 01		0.15	0.28	
输出导通电阻低侧	RONLS	满量程位 = 00		0.28	0.54	Ω
输出导通电阻高端	RONHS			0.12	0.22	Ω
输出漏电流	我泄漏			-5	+5	微安

电气特性（续）

(VS= 4.5V 至 36V, RREF= 从 12k Ω 至 24k Ω , 典型值假定 TA= 25° C 和 VS= 24V, 限值在 TA下进行 100% 测试] = +25° C。工作温度范围和相关电源电压范围的限制由设计和特性保证。)

范围	象征	状况	最小值 典型值 最大值	单位
输出转换率	SR	转换速率位 = 00	100	伏/微秒
		转换速率位 = 01	200	
		转换速率位 = 10	400	
		转换速率位 = 11	800	
保护电路				
过流保护阈值	OCP	满量程位 = 10	5.0	A
		满量程位 = 01	3.33	
		满量程位 = 00	1.67	
过流保护消隐时间	TOCP		0.9 1.5 2.3	微秒
V 上的 UVLO 阈值S	欠压闭锁	VS下降	3.75 3.9 4.05	V
V 上的 UVLO 阈值S迟滞	UVLOHYS		0.12	V
V 上的 UVLO 阈值 CC_IO	欠压闭锁	VCC_IO下降	0.9 1.5 1.95	
VCC_IOUVLO 迟滞	紫外LOVCCCH		100	毫伏
热保护阈值温度	TSD		165	℃
热保护温度迟滞			20	℃
现行法规				
IREF 引脚电阻范围	RREF		12 60	千欧姆
IREF 输出电压	V参考		0.882 0.9 0.918	V
满量程电流常数	韩国食品科学研究院	IFS = 1A	11.75	轴×kΩ
满量程电流常数	韩国食品科学研究院	IFS = 2A	24	轴×kΩ
满量程电流常数	韩国食品科学研究院	IFS = 3A	36	轴×kΩ
调节精度	DITRIP1	7% 至 100% FS 的输出电流， RREF= 12kΩ	-5 +5	%
功能时序				
睡觉时间	t睡眠	SLEEPN = 0 至 OUT_ 三态	50	微秒
从睡眠中醒来的时间	威克	SLEEPN = 1 正常运行	2.5	多发性硬化症
启用时间	十	从 DRV_ENN 引脚下降沿到驱动器开启的时间	1.5	微秒
禁用时间	十	从 DRV_ENN 引脚上升沿到驱动器关闭的时间	6	微秒

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系
RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

电气特性（续）

(VS= 4.5V 至 36V, RREF= 从 12k Ω 至 24k Ω , 典型值假定 TA= 25° C 和 VS= 24V, 限值在 TA下进行 100% 测试] = +25° C。工作温度范围和相关电源电压范围的限制由设计和特性保证。)

范围	象征	状况	最小值	典型值	最大值	单位
钟						
内部时钟频率	fCLKOSC		11.9	12.5	13.2	兆赫兹
外部时钟频率	fCLK		8	16	20	兆赫兹
外部时钟占空比	tCLKL		40		60	%
外部时钟周期检测			4		8	
内部 f 周期内的外部时钟超时检测CLKOSC			12		16	
外部时钟检测频率下限 阈值	fCLKLO		4			兆赫兹
SPI 时序						
SCK在CSN变更前或变更后有效	tCC		TSCLK			纳秒
南航高时	tCSH		4 x TCLK			纳秒
SCK低电平时间	tCL		20			纳秒
SCK高电平时间	tCH		20			纳秒
SCK频率	fSCK				10	兆赫兹
SCK 上升沿之前的 SDI 建立时间	tDU		10			纳秒
SCK 上升沿后的 SDI 保持时间	tDH		10			纳秒
SCK 下降沿后数据输出有效时间	tDO	VCC_IO= 3.3V			27 40	纳秒
SDI、SCK 和 CSN 滤波器延迟时间	tFILT	上升沿和下降沿			10	纳秒
步骤/方向时序						
步进频率	f步骤	边缘 = 1			fCLK/8	
		边缘 = 0			fCLK/4	
全步频率	fFS				fCLK/512	
STEP 高时间	tSH		tCLK+ 20			纳秒
STEP 低电平时间	tSL		tCLK+ 20			纳秒
DIR/STEP 到 CLK 设置时间	tSU		10			纳秒
DIR/STEP 至 CLK 保持时间	tSH		10			纳秒
DIR 到 STEP 建立时间	tSU		20			纳秒

电气特性（续）

(VS= 4.5V 至 36V, RREF= 从 12k Ω 至 24k Ω , 典型值假定 TA= 25° C 和 VS= 24V, 限值在 TA下进行 100% 测试] = +25° C。工作温度范围和相关电源电压范围的限制由设计和特性保证。)

范围	象征	状况	最小值 典型值 最大值	单位
DIR 到 STEP 保持时间	tH		20	纳秒
编码器时序				
编码器计数频率	fCNT		$\leq 2/3 f_{CLK}$ fCLK	
A/B/N 输入低电平时间	tABNL		3tCLK+ 20	纳秒
A/B/N 输入高电平时间	tABNH		3tCLK+ 20	纳秒
A/B/N 尖峰过滤时间	tFILTABN	上升沿和下降沿	3tCLK	
ADC/模拟输入/温度				
ADC 分辨率		12位+符号	13	少量
模拟输入电压范围	VAIN		0 1.25	V
模拟输入泄漏	I _{AIN} , 泄漏		-1 +1	微安
模拟输入频率	f _{AIN}	假设接受 AIN 欠采样, 则 AIN 输入频率需要低于给定的最大值, 才能对单个 ADC 通道进行有意义的 ADC 转换。	70	千赫
驱动器温度精度	T _{车手}		$\pm$ 10	°C
电源电压测量精度			-5 +5	%
ADC 采样率	f _{样本} , ADC		fCLK / 2048	

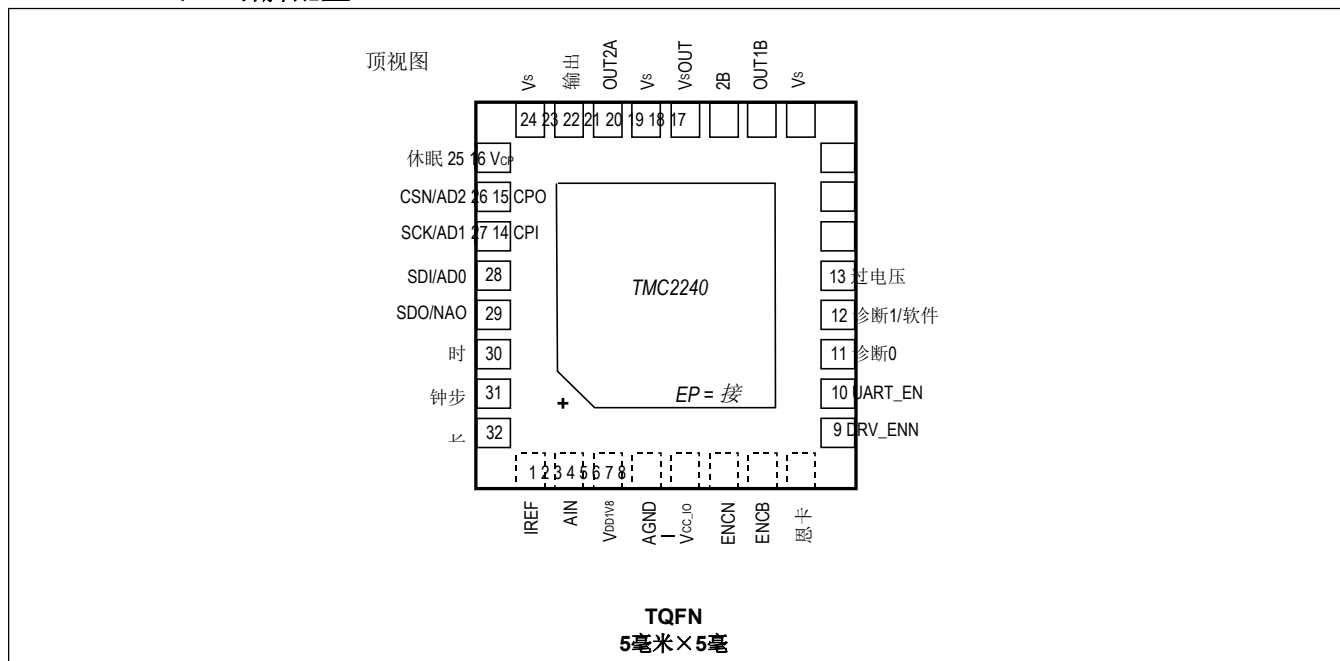
TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

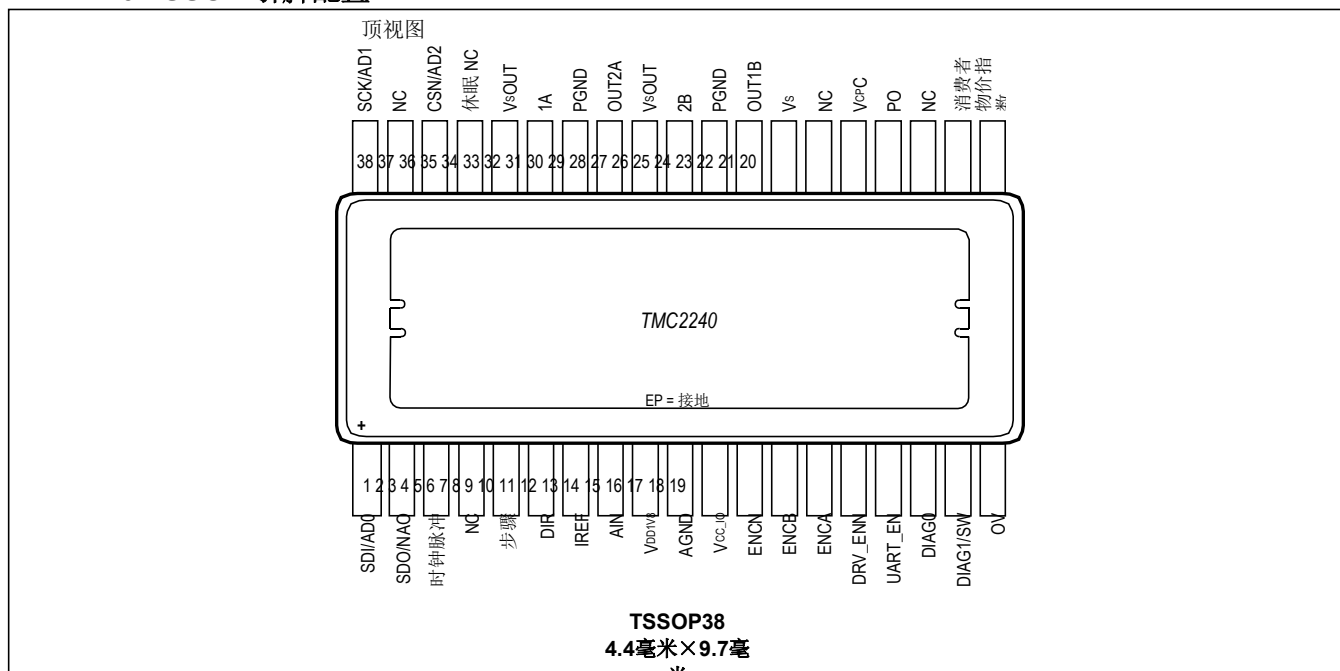
RMS+ 帶 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

引脚配置

TMC2240 TQFN 引脚配置



TMC2240 TSSOP 引脚配置



引脚说明

别 针		姓名	功能	参考电 源	类型
TQFN32	TSSOP38				
4	10	AGND	模拟地。连接到接地层。		接地
27、31		保护地线	电源地。连接到接地层。		接地
17、20、21、 24	25、29、33	VS	电机电源电压。通过到 GND 平面/裸露焊盘的最短环路在引脚附近提供滤波能力。		供应
3	9	VDD1V8	内部 1.8V 稳压器输出。将 2.2 μ F 或更大的陶瓷电容器连接到靠近引脚的 AGND，以获得最佳性能。		供应
16	23	VCP	电荷泵电压。使用 1.0 μ F 电容器连接至 VS。 将电容器的正端连接到靠近 VS 引脚以避免电感峰值。		模拟输出
5	11	VCC_IO	由外部源提供的数字 IO 电源电压，用于定义电路 IO 电平。需要在输出引脚上设置正确的电压电平。	VCC_IO	模拟输入
15	22	首席采购官	电荷泵电容输出。		模拟输出
14	20	消费者物价指数	电荷泵电容输入。使用 22nF 50V 电容器连接到 CPO。		模拟输出
30	3	时钟脉冲	时钟输入。使用短线连接至 GND，用于内部时钟或提供外部时钟。内部时钟故障转移电路可防止外部时钟信号丢失。	VCC_IO	数字输入
31	5	步	步骤输入。	VCC_IO	数字输入
32	6	目录	方向输入。	VCC_IO	数字输入
26	36	南航/AD2	SPI 片选输入（负有效）（UART_EN = 0）或 UART 模式下的地址输入 2 (+4) (UART_EN = 1)。	VCC_IO	数字输入（上拉）
27	38	SCK/AD1	SPI 串行时钟输入 (UART_EN = 0) 或 UART 模式下的地址输入 1 (+2) (UART_EN = 1)。	VCC_IO	数字输入（上拉）
28	1	SDI/AD0	SPI 数据输入（UART_EN = 0）或 UART 模式下的地址输入 0 (+1)（UART_EN = 1）。	VCC_IO	数字输入（上拉）
29	2	SDO/NAO	SPI 数据输出（三态）（UART_EN = 0）或 UART 模式下的下一个地址输出（NAO）（UART_EN = 1）。	VCC_IO	数字输出
1	7	IREF	用于电流缩放的模拟参考电流。提供外部电阻至 GND。	VCC_IO	模拟输入
10	16	串口_EN	接口选择引脚。 当连接为低电平时，SPI 接口被启用。当连接为高电平时，UART 接口被启用。集成下拉电阻。	VCC_IO	数字输入（下拉）
7	13	欧洲国家 CB	编码器 B 通道输入。	VCC_IO	数字输入（上拉）

引脚说明（续）

别 针		姓名	功能	参考电 源	类型
TQFN32	TSSOP38				
8	14	恩卡	编码器A通道输入。	VCC_IO	数字输入 (上拉)
6	12	ENCN	编码器N通道输入。	VCC_IO	数字输入 (上拉)
9	15	DRV_ENN	启用输入。当该引脚驱动至高电平时，功率级将关闭（所有电机输出悬空）。	VCC_IO	数字输入 (上拉)
11	17 号	诊断0	诊断输出 DIAG0。 在开漏模式下使用外部上拉电阻。 在系统复位状态下，该引脚被主动拉低，以向外部控制器指示复位条件。	VCC_IO	数字输出
12	18	诊断1/软件	诊断输出 DIAG1。 在开漏模式下使用外部上拉电阻。UART 模式下的单线 I/O。	VCC_IO	数字IO
25	35	睡眠PN	低有效断电输入/复位输入。 应用连续的低电平使设备进入睡眠模式。 SLEEPN 有一个内部下拉电阻。 如果未使用，请连接至 VS或 VCC_IO（这是一个高电压引脚）。 一旦 IC 从睡眠模式/复位返回，必须重新配置才能再次使用。睡眠模式期间不存储寄存器内容。 重新配置 IC 时，建议仍然使用 DRV_ENN 禁用桥驱动器。 请勿在电机高速运转时使用！	VS	模拟输入 (下拉)
19	28	输出2B	电机线圈B输出2	VS	模拟输出
18	26	输出1B	电机线圈B输出1	VS	模拟输出
22	30	输出2A	电机线圈A输出2	VS	模拟输出
23	32	输出1A	电机线圈A输出1	VS	模拟输出
EP	EP	接地	裸露的芯片焊盘。 将裸露芯片焊盘连接至 GND 平面。提供尽可能多的过孔，将热量传递到 GND 平面。用作功率级和内部电路的 GND 引脚。		接地

引脚说明（续）

别 针		姓名	功能	参考电 源	类型
TQFN32	TSSOP38				
—	4、21、24、 34、 37	北卡罗来纳州	没有内部联系。将此引脚保持开路或将其连接到 GND 以改善冷却。		北卡罗来纳州
13	19	OV	具有可编程阈值电压的过压指示器输出（漏极开路）。连接外部 MOSFET 和负载电阻以限制电源电压。需要外部上拉电阻。由 ADC 更新为 fCLK/2048	VCC_IO	数字输出（漏极开路）
2	8	艾恩	通用模拟输入测量 内部 ADC 具有 fCLK/2048 输入范围 0 至 1.25V。 可通过 SPI/UART 获取值。	VCC_IO	模拟输入

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系
RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

功能图

TMC2240

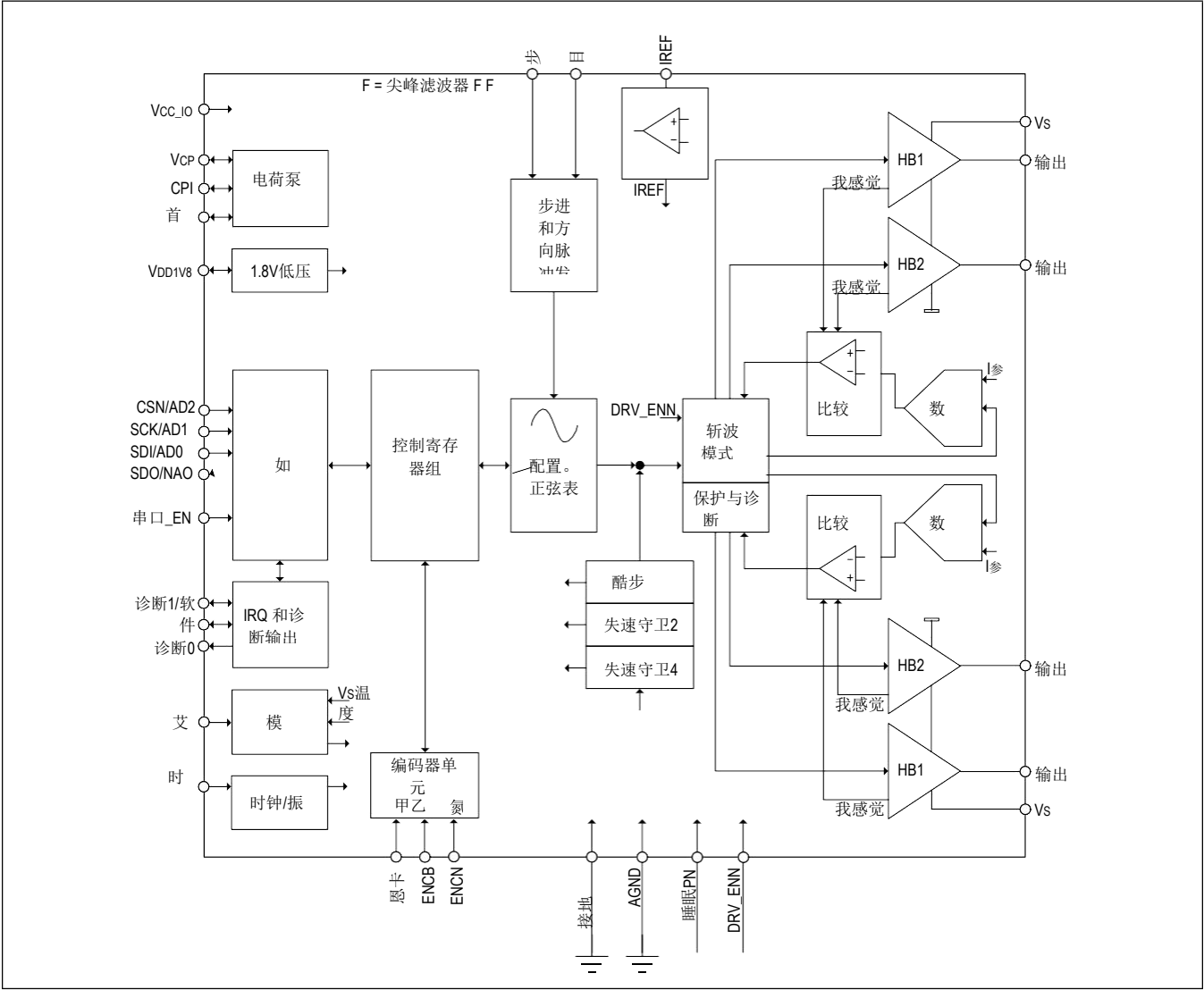


图1。框图

详细说明

操作原理

具有串行接口和诊断反馈的步进和方向驱动器

TMC2240 是一款智能步进和方向步进电机驱动器，具有串行接口（SPI、UART），用于参数化以及监控和诊断。

外部高性能运动控制器（如 TMC4361A 或 CPU）生成与其他组件（如附加电机）同步的步进和方向信号系统。

TMC2240 负责智能电流控制，并通过其串行接口之一提供电机状态反馈。

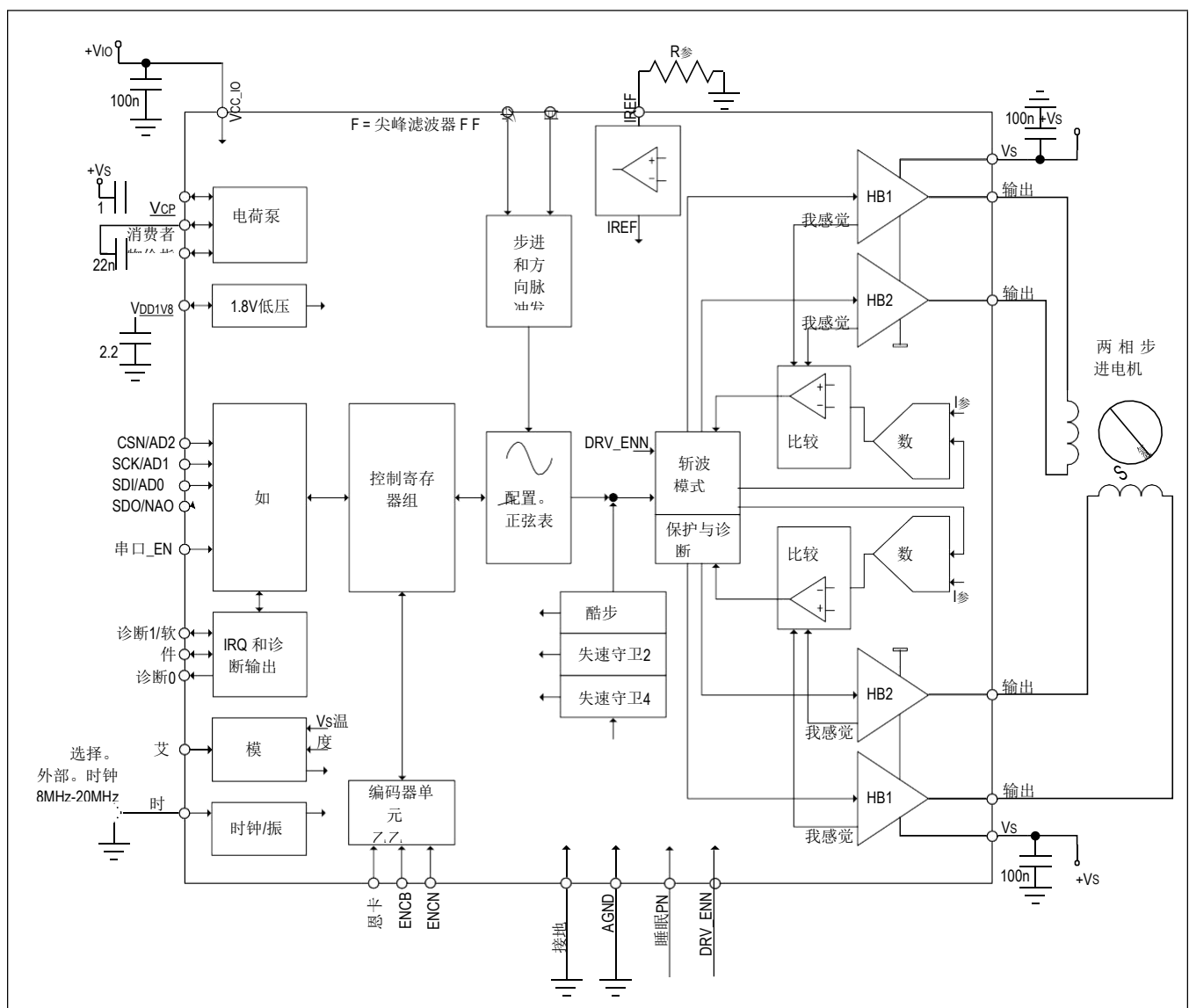


图 2. 具有典型外部元件的框图

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

关键概念

TMC2240 实现了 ADI-Trinamic 产品独有的高级功能。这些功能有助于在许多步进电机应用中实现更高的精度、更高的能效、更高的可靠性、更平稳的运动和更凉爽的运行。

隐秘斩2	无噪音、高精度斩波算法，可实现电机的无声运动和静止
传播周期	高精度逐周期电流控制可实现最高动态运动
失速守卫2	无传感器失速检测和机械负载测量
失速守卫4	无传感器归位可确保末端开关安全并在电机过载时发出警告
酷步	基于 StallGuard 反馈的主动峰值电流控制可实现最佳效率和最低电机和驱动器温度
微层器	微步插值器以全 256 微步运行，具有低分辨率步进输入

除了这些性能增强之外，ADI-Trinamic 电机驱动器还提供保护措施来检测和防止输出短路、输出开路、过热和欠压情况，从而增强安全性并从设备故障中恢复。

控制接口

TMC2240 支持 SPI 接口和带 CRC 检查的基于 UART 的单线接口。实际接口组合的选择是通过 UART_EN 引脚完成的，该引脚可以根据所需的接口选择硬连线到 GND 或 VCC_IO。

SPI 接口是与总线时钟同步的位串行接口。对于从总线控制器发送到总线外设的每一位，另一个位同时从外设发送回控制器。SPI 控制器（例如 MCU）和外设之间的通信始终包括发送 1 个 40 位命令字和接收 1 个 40 位状态字。

单线接口允许双向单线接口。它可由任何标准 UART 驱动。无需配置波特率。

步进和方向界面

使用步进和方向输入来控制电机。STEP 输入上的有效边沿可以是上升沿，也可以是上升沿和下降沿，由模式位 (dedge) 控制。使用两个边沿可将 STEP 信号的切换率减半，这对于控制慢速接口（例如光隔离耦合器）非常有用。在每个有效边沿，从 DIR 输入采样的状态决定是向前还是向后。每个步骤可以是全步骤或微步骤，其中每个全步骤有 2、4、8、16、32、64、128 或 256 个微步骤。DIR 上具有低状态的步进脉冲会增加微步计数器，而高状态会减少计数器，其量由微步分辨率控制。内部表将计数器值转换为正弦和余弦值，以控制微步进的电机电流。

自动停机断电

自动电流降低可大大降低应用功耗和冷却要求。运行电流减少一半可将静态功耗降低至约 25%。静止电流、延迟时间和衰减参数可以通过串行控制接口进行配置。

自动续流和被动电机制动可作为静止选项。被动制动将电机静止功耗降低至零，同时仍提供有效的阻尼和制动！

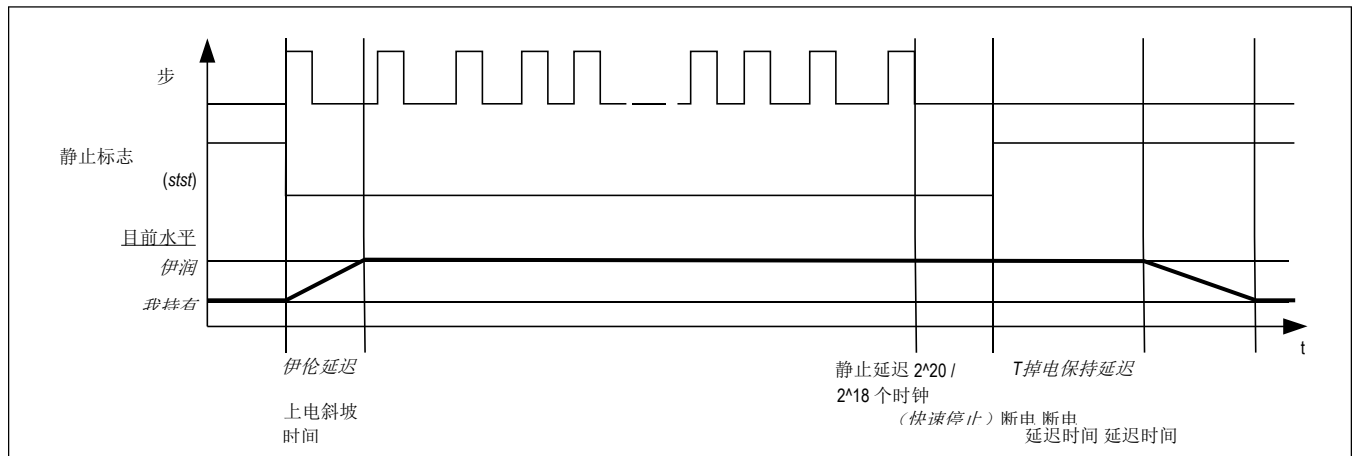


图3. 静止和加速时的自动电机电流控制

StealthChop2 和 SpreadCycle 驱动程序

StealthChop2 是一种基于电压斩波器的原理。特别保证电机在静止和慢速运动时绝对安静，滚珠轴承产生的噪音除外。

与其他电压模式斩波器不同，StealthChop2 不需要任何配置。它会在通电后的第一个动作中自动学习最佳设置，并进一步优化后续动作中的设置。

初始归位序列足以进行学习。可选地，可以将初始学习参数加载到寄存器组中。StealthChop2 通过立即对电机速度的变化做出反应，实现高电机动态。

对于最高速度的应用，SpreadCycle 是 StealthChop2 的替代选项。StealthChop2 和 SpreadCycle 甚至可以在组合配置中使用，以获得两全其美的效果：StealthChop2 可实现无噪音静止、安静和平稳的性能，SpreadCycle 可在较高速度下实现高动态和低振动下的最高峰值速度。

SpreadCycle 是一种先进的逐周期斩波模式。它在较宽的速度和负载范围内提供平稳的操作和良好的共振抑制。SpreadCycle 斩波器方案自动集成和调整快速衰减周期，以保证平稳的过零性能。

好处

- 使用低成本电机显著改进微步进
- 电机运转平稳、安静
- 绝对没有待机噪音
- 减少机械共振提高扭矩输出

StallGuard2/4 - 机械负载传感

StallGuard2 和 StallGuard4 可准确测量电机负载。它可用于失速检测以及低于电机失速负载的其他用途，例如 CoolStep 负载自适应电流降低。

这提供了有关驱动器的更多信息，允许无传感器归位和驱动机构诊断等功能。StallGuard2 与 SpreadCycle 斩波器结合使用，而 StallGuard4 使用不同的原理与 StealthChop2 结合使用。

CoolStep - 负载自适应电流控制

CoolStep 以最佳电流驱动电机。它使用 StallGuard2 或 StallGuard4 负载测量信息将电机电流调整至实际负载情况所需的最小量。

CoolStep 可节省能源并保持组件凉爽。由于以最佳电流驱动电机，与标准操作相比，CoolStep 提高了电机效率，扭矩储备约为 50%。

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

好处

- 最高能效，功耗降低高达75%
- 电机产生的热量更少
- 提高机械精度
- 较少或无冷却
- 提高可靠性
- 可以使用更小的电机，所需的扭矩储备更少
- 由于激发电机共振的能量较少，电机噪音较小

编码器接口

TMC2240 为外部增量编码器提供编码器接口。编码器可用于编码器位置和外部斜坡发生器位置之间的动态一致性检查。可编程预分频器允许编码器分辨率适应电机分辨率。提供了 32 位编码器计数器。

SPI接口

SPI数据报结构

TMC2240 使用 40 位 SPI 数据报与微控制器进行通信。配备硬件 SPI 的微控制器通常能够使用 8 位的整数倍进行通信。在数据报传输的整个持续时间内，设备的 CSN 线必须保持活动状态 (= 低电平)。

发送到设备的每个数据报由一个地址字节和后面的四个数据字节组成。这允许与寄存器组进行直接 32 位数据字通信。每个寄存器都通过 32 个数据位进行访问，即使它使用的数据位少于 32 个。

为了简单起见，每个寄存器都由一个单字节地址指定：

- 对于读访问，地址字节的最高有效位为 0。
- 对于写访问，地址字节的最高有效位为 1。

所有寄存器都是可读的，大部分是可读写的，有些是只读的，有些是写1清零（例如GSTAT寄存器）。

表格1。SPI数据报结构

MSB（首先传输）				40位		LSB（最后传输）				
39 ...0										
写：8位地址读取：8位SPI状态			读/写32位数据							
39 ...32			31 ...0							
写给RW+7位地址			8位数据		8位数据		8位数据		8位数据	
读自8位SPI状态										
39 / 38 ...32			31 ...24		23 ...16		15 ...8		7 ...0	
瓦	38...32		31...28	27...24	23...20	19...16	15...12	11...8	7...4	3...0

选择写入/读取 (WRITE_notREAD)

读写选择由地址字节的 MSB（SPI 数据报的第 39 位）控制。该位为 0 表示读访问，为 1 表示写访问。因此，名为 W 的位是 WRITE_notREAD 控制位。高有效写入位是地址字节的 MSB。因此，必须将 0x80 添加到地址中才能进行写访问。SPI 接口始终将数据传回控制器，与 W 位无关。如果先前的访问是读访问，则传回的数据是从与之之前的数据报一起发送的地址读取的数据。如果先前的访问是写访问，则读回的数据镜像先前接收到的写数据。因此，读访问和写访问之间的区别在于，读访问不会将数据传输到寻址寄存器，而仅传输地址，并且其 32 个数据位是虚拟的，并且，接下来的读或写访问会返回从地址读取的数据

在前一个读周期中发送。

读访问请求数据报使用虚拟写数据。读取的数据通过后续的读或写访问传输回控制器。因此，可以以流水线方式读取多个寄存器。

每当从 TMC2240 读取数据或向 TMC2240 写入数据时，传回的 MSB 包含 SPI 状态。这 SPI_STATUS 是八个选定状态位。

示例:

对于对地址为 0x21 的寄存器 (XACTUAL) 进行读访问，必须在读访问之前的访问中将地址字节设置为 0x21。对于寄存器 (VACTUAL) 的写访问，地址字节必须设置为 0x80 + 0x22 = 0xA2。对于读访问，数据位可以具有任何值 (-)。因此，可以将它们设置为 0。

表 2.SPI 读/写示例流程

行动	数据发送至 TMC2240	从 TMC2240 接收的数据
读取XACTUAL	0x2100000000	0xSS 和未使用的数据*
读取XACTUAL	0x2100000000	0xSS 和 X 实际
写入VMAX= 0x00ABCDEF	0xA700ABCDEF	0xSS 和 X 实际
写入VMAX= 0x00123456	0xA700123456	0xSS00ABCDEF

* SS: 是状态位SPI_STATUS的占位符

每个数据报读回时传输的 SPI 状态位

新的状态信息在每次访问结束时被锁存，并可在下一次 SPI 传输中使用。

表3。SPI_STATUS - 每次 SPI 访问时发送的状态标志（位 39 至 32）

少量	姓名	评论
7:4	不在乎	未用于 TMC2240
3	停顿	DRV_STATUS[31] - 1: 发出电机静止信号
2	SG2	DRV_STATUS[24] - 1: 发出 StallGuard 标志处于活动状态的信号
1	驱动程序错误	GSTAT[1] - 1: 发出驱动程序 1 驱动程序错误信号（通过读取GSTAT清除）
0	重置标志	GSTAT[0] - 1: 表示已发生复位的信号（通过读取GSTAT清除）

数据对齐

所有数据均右对齐。一些寄存器表示无符号（正）值，一些寄存器表示整数值（有符号）作为二进制补码，单个位或位组分别表示为单个位和整数组。

SPI 信号

TMC2240 上的 SPI 总线有四个信号：

- SCK——总线时钟输入
- SDI——串行数据输入
- SDO——串行数据输出
- CSN - 片选输入（低电平有效）

SPI 外设通过片选输入 CSN 上的低电平启用 SPI 事务。位传输与总线时钟 SCK 同步，外设的 SCK 的上升沿锁存来自 SDI 的数据，并在下降沿后将数据驱动到 SDO。首先发送最高有效位。TMC2240 的总线事务至少需要 40 个 SCK 时钟周期。

如果驱动的时钟超过 40 个，移入 SDI 的附加位将在 40 个时钟延迟后通过内部移位寄存器移出到 SDO。这可用于菊花链多个芯片。

在整个总线事务期间，CSN 必须为低电平。当 CSN 变高时，内部移位寄存器的内容被锁存到内部控制寄存器中，并被识别为从 SPI 控制器到 SPI 外设的命令。如果

如果发送的数据超过 40 位，则仅将 CSN 上升沿之前接收到的最后 40 位识别为命令。

SPI 时序

SPI 最大频率为 10MHz。SCK 独立于系统的时钟频率，而唯一依赖于时钟频率的参数是最小 CSN 高电平时间。所有 SPI 输入均经过内部过滤，以避免触发短于 10ns 的脉冲。该图显示了 SPI 总线事务的时序参数。EC 表中给出了时序值。SPI 接口使用 SPI 模式 3。

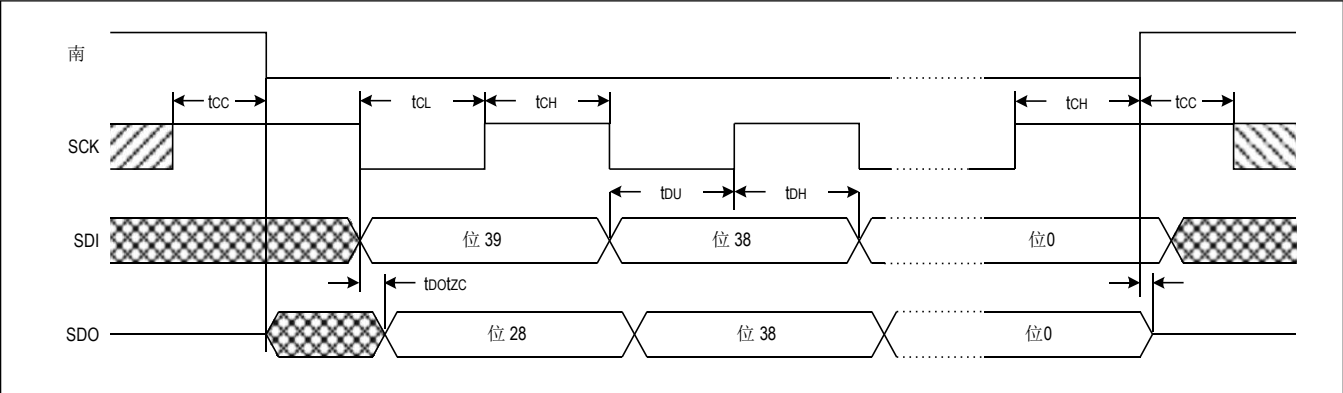


图 4.SPI 时序图

UART 单线接口

UART 单线接口允许使用任何微控制器 UART 控制 TMC2240。它像基于 RS485 的接口一样共享发送和接收线路。使用循环冗余校验来保护数据传输，因此即使在电磁干扰的情况下，也可以桥接增加的接口距离（例如，通过两个 PCB 之间的电缆），而不会出现错误或丢失命令的危险。自动波特率检测使该接口易于使用。

数据报结构写访问

表 4.UART 写访问数据报结构

每个字节都是 LSB…MSB，最高字节首先发送																				
0 … 63																				
同步+保留								8位节点地址			RW + 7 位寄存器地址。			32位数据				CRC		
0…7								8…15			16…23			24…55				56…63		
1	0	1	0	保留（不关心，但包含在CRC 中）				节点地址			寄存器地址		1	数据字节 3、2、1、0（高字节到低字节）				CRC		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	…	15	16	…	23	24	……	55	56	…	63	
									…			…						…		

同步半字节位于 TMC2240 的每次传输之前，并嵌入到第一个传输的字节中，后面跟着一个寻址字节。每次传输都允许内部波特率分频器与 UART 主机时钟同步。实际波特率会被调整，内部时钟频率的变化也会被补偿。这样，波特率就可以在有效范围内自由选择。每个发送的字节以起始位（逻辑 0，DIAG1/SW 上的低电平）开始，并以停止位（逻辑 1，DIAG1/SW 上的高电平）结束。位时间是通过测量从起始位开始（1 到 0 转换）到同步帧结束（从位 2 到 3 的 1 到 0 转换）的时间来计算的。所有数据

以字节方式传输。32 位数据字首先传输最高字节。

假设时钟为 20MHz（低波特率的最坏情况），则允许的最小波特率为 9000 波特。由于波特时钟所需的稳定性，最大波特率为 fCLK/16。

初始外设地址NODEADDR由CSN_AD2、SCK_AD1、SDI_AD0在0到7范围内选择。

外设地址由寄存器NODEADDR和上面给出的引脚选择之和确定。这意味着 SDI 上的高电平（CSN 为低电平且 SCK 为低电平）会将NODEADDR设置增加 1。

寄存器地址的位 7 标识读 (0) 或写 (1) 访问。例子：地址 0x10 更改为 0x90 以进行写访问。

如果两个连续字节的起始位之间的暂停时间超过 63 位时间，则通信将复位。该计时基于最后一次正确接收的数据报。在这种情况下，需要在至少12位总线空闲时间的故障恢复时间后重新启动传输。该方案允许 UART 主机在发生传输错误时重置通信。空闲数据线上低于 16 个时钟周期的任何脉冲都被视为毛刺，并导致 12 位时间超时，为此数据线必须空闲。其他错误（例如错误的 CRC）也以同样的方式处理。这允许在出现任何错误情况后安全地重新同步传输。请考虑，由于这种机制，波特率不可能突然降低到低于先前值的 15%。

每个接受的写入数据报都会通过增加内部循环数据报计数器（8 位）而被接收器确认。读出数据报计数器允许 UART 主机检查初始化序列或单次写访问是否成功。读访问不会修改计数器。

读取访问

表 5.UART 读访问请求数据报结构

每个字节都是 LSB…MSB，最高字节首先发送															
同步+保留								8位节点地址			RW+7位寄存器地址			CRC	
0…7								8…15			16…23			24…31	
1	0	1	0	保留（不关心，但包含在 CRC 中）				节点地址			寄存器地址			0	CRC
0	1	2	3	4	5	6	7	8	……	15	16	……	23	24	… 31

读访问请求数据报结构与写访问数据报结构相同，但使用较少数量的用户位。其功能是对 UART 节点进行寻址并传输读取访问所需的寄存器地址。TMC2240 以与 UART 主机用于读取请求的波特率相同的波特率进行响应。

为了确保从主机到节点的干净总线转换，TMC2240 不会立即发送对读访问的答复，而是使用可编程延迟时间，在此之后，在读请求之后发送第一个答复字节。根据 UART 主机的需要，可以使用SENDDelay时间设置（默认 = 8 位时间）将该延迟时间设置为 8 位时间的倍数。在多节点系统中，将SENDDelay设置为最小值。2 对于所有节点。否则，非寻址节点可能会在对不同节点进行读访问时检测到传输错误。

表 6.UART 读访问回复数据报结构

每个字节都是 LSB…MSB，首先发送最高字节 063															
同步+保留								8位节点地址			RW + 7 位寄存器地址。			32位数据	
0…7								8…15			16…23			24…55	
1	0	1	0	保留 (0)				0xFF			寄存器地址			0	数据字节 3、2、1、0（高字节到低字节）
0	1	2	3	4	5	6	7	8	……	15	16	……	23	24	…… 55
															56 … 63

使用地址代码 %11111111 将读取响应发送到 UART 主机。在发送最后一位后，发送器变为非活动状态四位时间。

地址 %11111111 保留用于对 UART 主机进行读访问。节点不能使用该地址。

CRC 计算

8 位 CRC 多项式用于检查读取和写入访问。它允许检测多达八个单位

错误。初始值为零的 CRC8-ATM 多项式应用于 LSB 到 MSB，包括同步和寻址字节。假定同步半字节始终正确。TMC2240 仅响应包含其自身节点地址的正确传输的数据报。它为每个正确接收的写访问数据报增加其数据报计数器。

CRC = x8+ x2+ x1+ x0

串行计算示例

CRC = (CRC << 1) OR (CRC.7 XOR CRC.1 XOR CRC.0 XOR [新传入位])

CRC 计算的 C 代码示例

```
void swuart_calcCRC(UCHAR* 数据报, UCHAR 数据报长度)
{
    整数 i,j;
    UCHAR* crc = 数据报 + (datagramLength-1); // CRC 位于消息的最后一个字节 UCHAR
    currentByte;

    *CRC = 0;

    for (i = 0; i<(datagramLength-1); i++) { // 对消息的所有字节执行 currentByte =
        datagram[i]; // 从数组中检索要发送的字节 for (j = 0; j<8; j++) {
            if ((*crc >> 7) ^ (currentByte&0x01)) // 更新基于 CRC 的 XOR 运算结果
            {
                *crc = (*crc << 1) ^ 0x07;
            }
            别的
            {
                *crc = (*crc << 1);
            }
            当前字节 = 当前字节 >> 1;
        } // CRC 位
    } // 消息字节
}
```

UART信号

TMC2240 上的 UART 接口包含五个信号。在 UART 模式下，每个节点连续检查单线引脚 DIAG1/SW 是否正确接收到具有自己地址的数据报。在此期间该引脚切换为输入。如前所述，它根据同步半字节适应波特率。如果进行读访问，它会打开 DIAG1/SW 上的输出驱动器，并使用相同的波特率发送其响应。

表 7.TMC2240 UART 接口信号

信号	描述
诊断1/软件	数据输入输出
南航/AD2	UART 地址增量的位 2 (+4)
SCK/AD1	UART 地址增量的位 1 (+2)
SDI/AD0	UART 地址增量的位 0 (+1)，与链中前一个 IC 的 NAO 相关
SDO/NAO	用于链式顺序寻址方案的 NAO 引脚（重置默认 = 高）

寻址多个节点

如果主机使用单个 UART 总线接口仅对一个或最多八个 TMC2240 进行寻址，则可以使用简单的硬件地址选择。各个 UART 节点地址通过连接 UART 地址引脚（SDI、

- SCK、CSN) 至 VCC_IO和 GND。
- 如果需要将八个以上的节点连接到同一 UART 总线，则必须使用不同的方法。通过使用输出 NAO (SDO) 作为下一个器件的位 0 地址引脚的选择引脚，该方法可以寻址多达 255 个节点。请按如下方式进行：
- 将第一个 TMC2240 的所有地址引脚以及 SDI/AD0 连接到 GND。
 - 将第一个 TMC2240 的 SDO/NAO 输出连接到下一个节点的地址 [0] 引脚 (SDI/AD0)。以相同的方式连接更多节点。
 - 现在，第一个节点响应地址 0。以下节点设置为地址 1。
 - 将第一个 TMC2240 编程为其特定节点地址。**注意：**一旦节点使用其节点地址进行初始化，其与下一个节点的地址[0]引脚 (SDI/AD0) 相连的 SDO/NAO 输出必须编程为逻辑 0，以便将下一个节点与所有后续节点区分开来。
 - 现在，第二个节点可以访问并且可以获得其特定的节点地址。更多节点可以顺序编程到它们的特定节点地址。

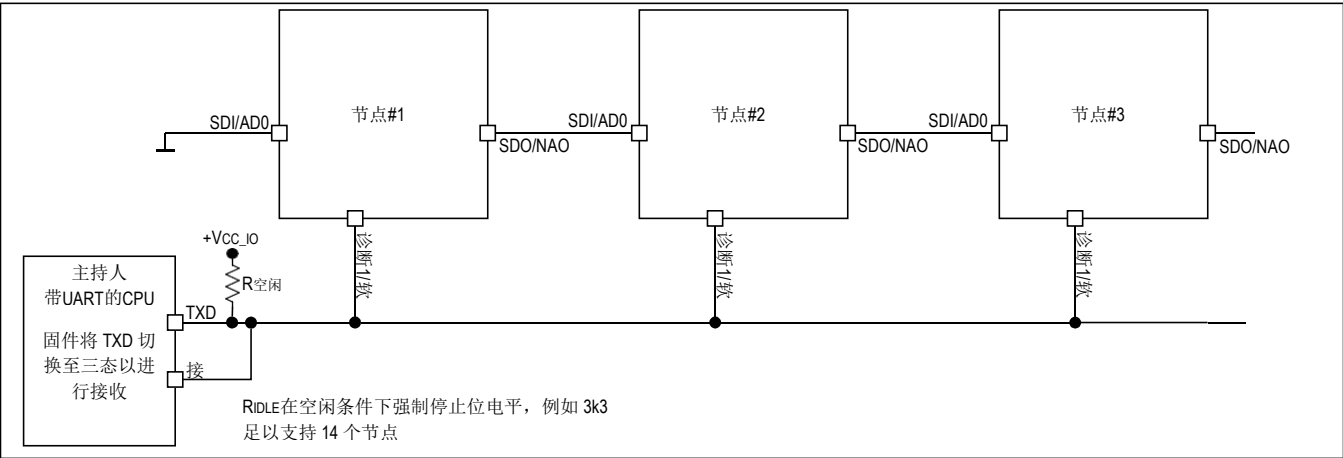


图 5. UART 菊花链示例

表 8.用于寻址多达 255 个节点的 UART 示例

阶段	节点#1	节点#2	节点#3
解决第一阶段问题	地址0，NAO为高电平	地址1	地址1
解决第 2 阶段	编程寻址 254 并将 NAO 设置为低电平	地址0，NAO为高电平	地址1
解决第 3 阶段	地址 254	编程寻址 253 并将 NAO 设置为低电平	地址0
解决第 4 阶段	地址 254	地址 253	编程寻址 252 并将 NAO 设置为低电平
寻址阶段 x	继续程序		

步进/方向接口

STEP 和 DIR 输入提供了与许多现有运动控制器兼容的简单、标准接口。MicroPlyer 步进脉冲插补器将高分辨率微步进的平滑电机操作引入最初为较粗步进设计的应用中。

定时

下图显示了 STEP 和 DIR 信号的时序参数。当边缘模式位在

CHOPCONF寄存器被置位，**STEP** 的两个边沿均有效。如果**dedge**被清除，则只有上升沿有效。**STEP** 和 **DIR** 被采样并与系统时钟同步。大约 10ns 的内部模拟滤波器可消除信号上的毛刺，例如由长 PCB 走线引起的毛刺。如果信号源距离芯片较远，特别是信号通过电缆传输，则需要对信号进行滤波或差分传输。

请参阅 [电气特性](#)表了解指定的时序参数。

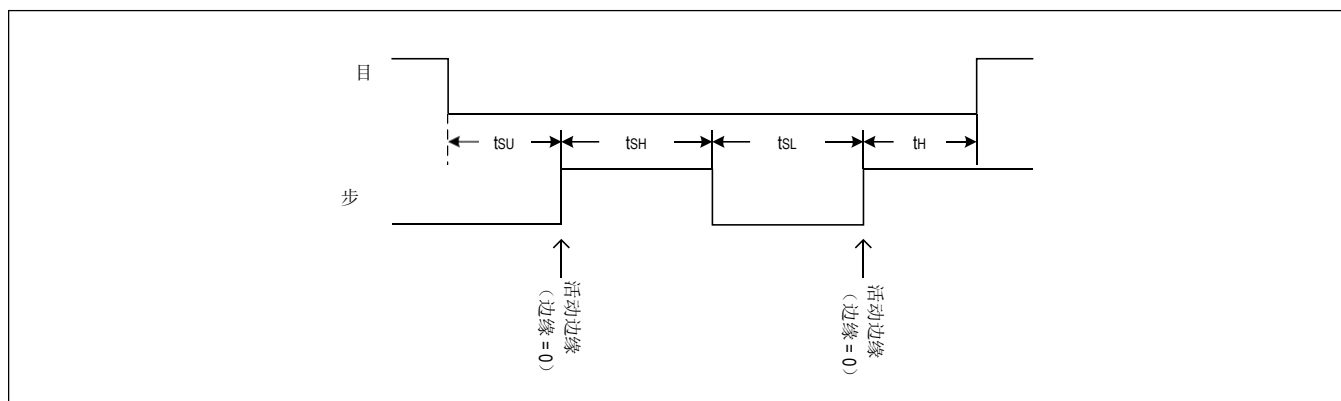


图 6.STEP/DIR 信号时序

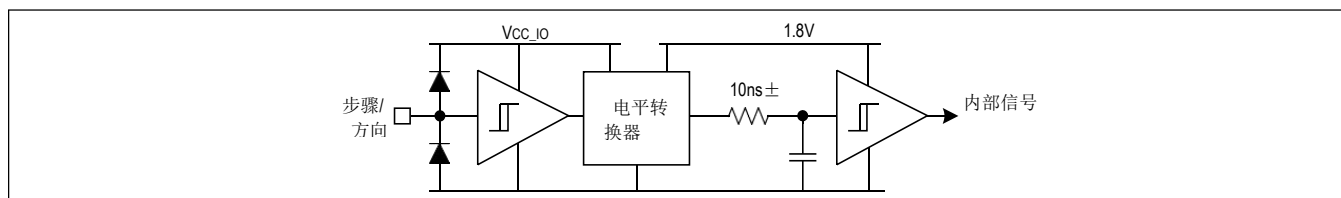


图 7.STEP/DIR信号输入滤波器结构

改变分辨率

降低的微步分辨率可以限制 **STEP/DIR** 接口的步进频率，或者兼容较旧的、性能较差的驱动程序。具有 1024 个正弦波条目的内部微步表生成正弦电机线圈电流。这 1024 个条目对应于一次电转或四次全步。微步分辨率设置决定了表中采用的步长。根据 **DIR** 输入，微步计数器会随着每个 **STEP** 脉冲增加 (**DIR = 0**) 或减少 (**DIR = 1**) 步长。微步分辨率分别决定增量和减量。在最大分辨率下，定序器对每个步进脉冲前进一个步骤。在半分辨率下，它前进两步。全步增量最多为 256 步。定序器具有特殊功能，可以随时在不同微步速率之间进行无缝切换。当切换到较低微步分辨率时，它会计算目标分辨率内最近的步并读取该位置的当前矢量。这种行为对于全步和半步等低分辨率尤其重要，因为在比较顺时针和逆时针运行的电机时，步进序列中的任何故障都会导致不对称运行。

例子：

全步: 循环切换表位置：128、384、640 和 896 (45°、135°、225° 和 315° 电气位置，两个线圈以相同电流接通)。每个位置的线圈电流对应于 RMS 值 (0.71 x 幅度)。步长为 256 (90° 电气)

半步: 第一工作台位置为 64 (22.5° 电气)，步长为 128 (45° 步长)

四分之一步长: 第一个工作台位置为 32 (90° / 8 = 11.25° 电气)，步长为 64 (22.5° 步长)

这样就产生了等距的步骤，并且它们在两个旋转方向上是相同的。一些老司机也使用零

电流（表条目 0、0°）以及步进表中的全电流（90°）。应避免这种步进，因为它提供的扭矩较小，并且驱动器和电机的功耗较差。

表 9.A/B 相线圈电流的全步/半步查找表值

步骤位置	桌子位置	电流线圈A	电流线圈B
半步0	64	38.3%	92.4%
全步 0	128	70.7%	70.7%
半步1	192	92.4%	38.3%
半步2	320	92.4%	-38.3%
全步 1	第384章	70.7%	-70.7%
半步3	第448章	38.3%	-92.4%
半步4	第576章	-38.3%	-92.4%
全步 2	640	-70.7%	-70.7%
半步5	704	-92.4%	-38.3%
半步 6	第832章	-92.4%	38.3%
全步 3	896	-70.7%	70.7%
半步7	960	-38.3%	92.4%

MicroPlyer 步进插补器和静止检测

对于 STEP 上的每个活动边缘，MicroPlyer 都会以 256 倍分辨率生成微步。它根据最后一步间隔对步进输入处的两个步进脉冲之间的时间进行插值。这样，单步脉冲可驱动从 2 微步（128 微步到 256 微步插值）到 256 微步（全步输入到 256 微步）。

通过设置CHOPCONF寄存器中的intpol位来启用 MicroPlyer 功能。

内插的 2 微步到 256 微步的步速是通过测量前一步周期的时间间隔并将其分成最多 256 个等份来确定的。对于 256 个微步的均匀分布，2 个微步之间的最大时间对应于 220（大约一百万个系统时钟周期）。在 16MHz 系统时钟频率下，MicroPlyer 操作的最小步进输入频率为 16Hz。较低的步进速率会导致STST位被置位，这表明发生了静止事件。在该频率下，微步以（系统时钟频率）/216~ 256Hz 的速率发生。当检测到静止时，驱动器自动将电机切换到保持电流IHOLD。

注意：MicroPlyer 仅在稳定的 STEP 频率下才能完美工作。如果 STEP 信号没有 50% 占空比，请勿使用边缘选项！

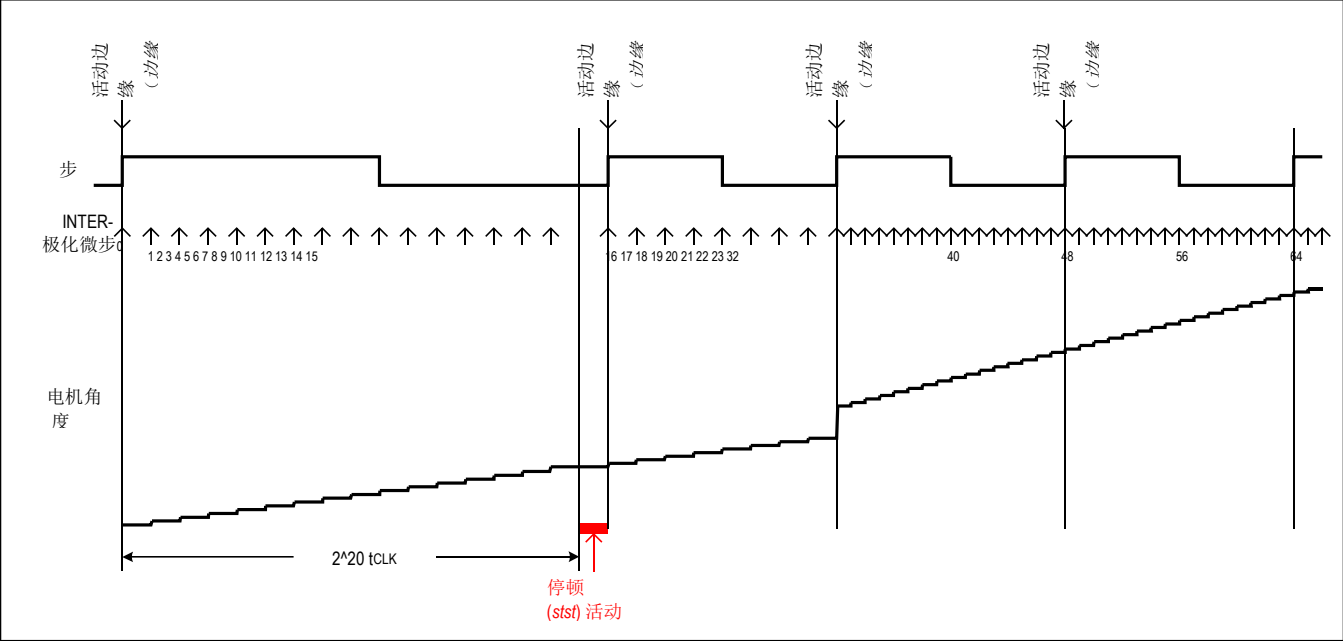


图 8. MicroPlyer 微步插值，STEP 频率不断上升（示例：16 至 256）

在图中，第一个STEP周期足够长以设置静止位stst。该位在下一个 STEP 有效边沿被清除。然后，外部STEP 频率增加。在以较高速率进行一个周期后，MicroPlyer 会将内插微步速率调整为较高频率。在较慢速率的最后一个周期中，MicroPlyer 没有生成全部 16 个微步，因此在较高速率的第一个和第二个周期之间电机角度有一个小跳跃。

隐秘斩2

StealthChop2 是步进电机极其安静的运行模式。它基于电压模式 PWM。在静止和低速情况下，电机绝对无噪音。因此，StealthChop2 操作的步进电机应用非常适合室内或家庭使用。电机在低速运行时绝对无振动。借助 StealthChop，通过使用电压模式 PWM 将一定的有效电压驱动到线圈中来施加电机电流。借助增强型 StealthChop2，驱动程序可自动适应应用程序以获得最佳性能。无需更多配置。可选配置允许在特殊情况下调整设置，或设置自动适应算法的初始值。对于高速驱动器，应考虑将 SpreadCycle 与 StealthChop2 结合使用。

探索 StealthChop2 时，在您的应用程序中操作电机。带机械负载时电机性能通常会更好，因为它可以防止电机因无负载时可能发生的机械振荡而停转。

自动调谐

StealthChop2 集成了自动调谐 (AT) 程序，可自动调整电机最重要的运行参数。这样，StealthChop2 可实现高电机动态并支持将电机断电至非常低的电流。为了获得最佳结果，只需考虑两个步骤：启动时电机处于静止状态，但使用标称运行电流 (AT#1) 供电。以中等速度移动电机，例如，作为归位程序 (AT#2) 的一部分。下图的流程图显示了调整过程。

表 10. StealthChop2 自动调节 AT#1 和 AT#2 的约束和要求

步骤参数条件	所需时长
--------	------

表 10.StealthChop2 自动调节 AT#1 和 AT#2 的约束和要求（续）

AT#1	脉宽调制 OFS_自动	- 电机处于静止状态，实际电流范围 (CS) 为与运行电流相同 (IRUN)。 - 如果启用了静止减少功能，初始步进脉冲会将驱动器切换回运行电流，或将IHOLD设置为IRUN。 - 引脚 VS处于工作电平。	$\leq 220 + 2 \times 218t_{CLK}$, ≤ 130 毫秒 (带内部时钟)
AT#2	PWM_GRAD _AUTO	- 以产生大量反电动势并且可以达到满运行电流的速度移动电机。状况： $1.5 \times PWM_OFS_AUTO \times (IRUN+1)/32 < PWM_SCALE_SUM < 4 \times PWM_OFS_AUTO \times (IRUN+1)/32$ $PWM_SCALE_SUM < 255$ 提示: 典型范围为 60RPM 至 300RPM。	± 1 的变化需要 8 个全步。对于 PWM_GRAD_AUTO最佳值为 50 或更低的典型电机，从默认值 0 开始时最多需要 400 个全步。

提示:

使用评估板确定自动调谐的最佳条件。
使用PWM_GRAD和PWM_OFS的应用程序特定参数进行固件初始化，以提供初始调整参数。
在 AT#2 调谐的恒速阶段监控PWM_SCALE_AUTO降至零。这表明调整成功。

注意:

在没有适当调整的情况下在 StealthChop2 中运行可能会导致减速斜坡期间出现高电机电流，特别是对于低电阻电机和快速减速设置。遵循自动调谐过程并使用评估板检查最佳调谐条件。建议使用根据电机类型确定的设置PWM_OFS和PWM_GRAD的初始值。
修改GLOBALSCALER或 VS电压会使自动调谐过程的结果无效。在下一个 AT#1 阶段之前，电机电流调节无法补偿显著变化。当后续操作中满足 AT#1 和 AT#2 条件时，自动调整会适应变化的条件。

StealthChop2 选项

为了将电机电流匹配到一定水平，有效 PWM 电压根据电机的实际速度进行缩放。其他几个因素会影响以目标电流驱动电机所需的电压水平：电机电阻、其反电动势（例如，与其速度成正比）以及电源电压的实际水平。提供两种 PWM 调节模式：使用电流反馈的自动调谐模式 (AT) (pwm_autoscale = 1, pwm_autograd= 1) 和前馈速度控制模式 (pwm_autoscale= 0)。前馈速度控制模式不会对电源电压的变化或电机失速等事件做出反应，但它提供非常稳定的幅度。它不使用或不需要任何电流测量方法。当电机类型和电源电压众所周知时，这是完美的。因此，我们建议使用自动模式，除非电流调节在给定的工作条件下不满足要求。
建议使用特定于应用的初始调整参数，以适应电机类型和电源电压。此外，在自动调谐模式下运行，以响应参数变化，例如由于电机发热或电源电压变化而导致的参数变化。
仅当电机和操作条件众所周知时才应考虑非自动模式 (pwm_autoscale = 0)。在这种情况下，需要通过接口仔细编程。运行参数PWM_GRAD和PWM_OFS最初可以在自动调谐模式下确定。
StealthChop2 PWM 频率可以分四级选择，以使分频器适应时钟源的频率。20kHz – 50kHz 范围内的设置适合大多数应用。它平衡了低电流纹波和良好的高速性能与动态功耗。

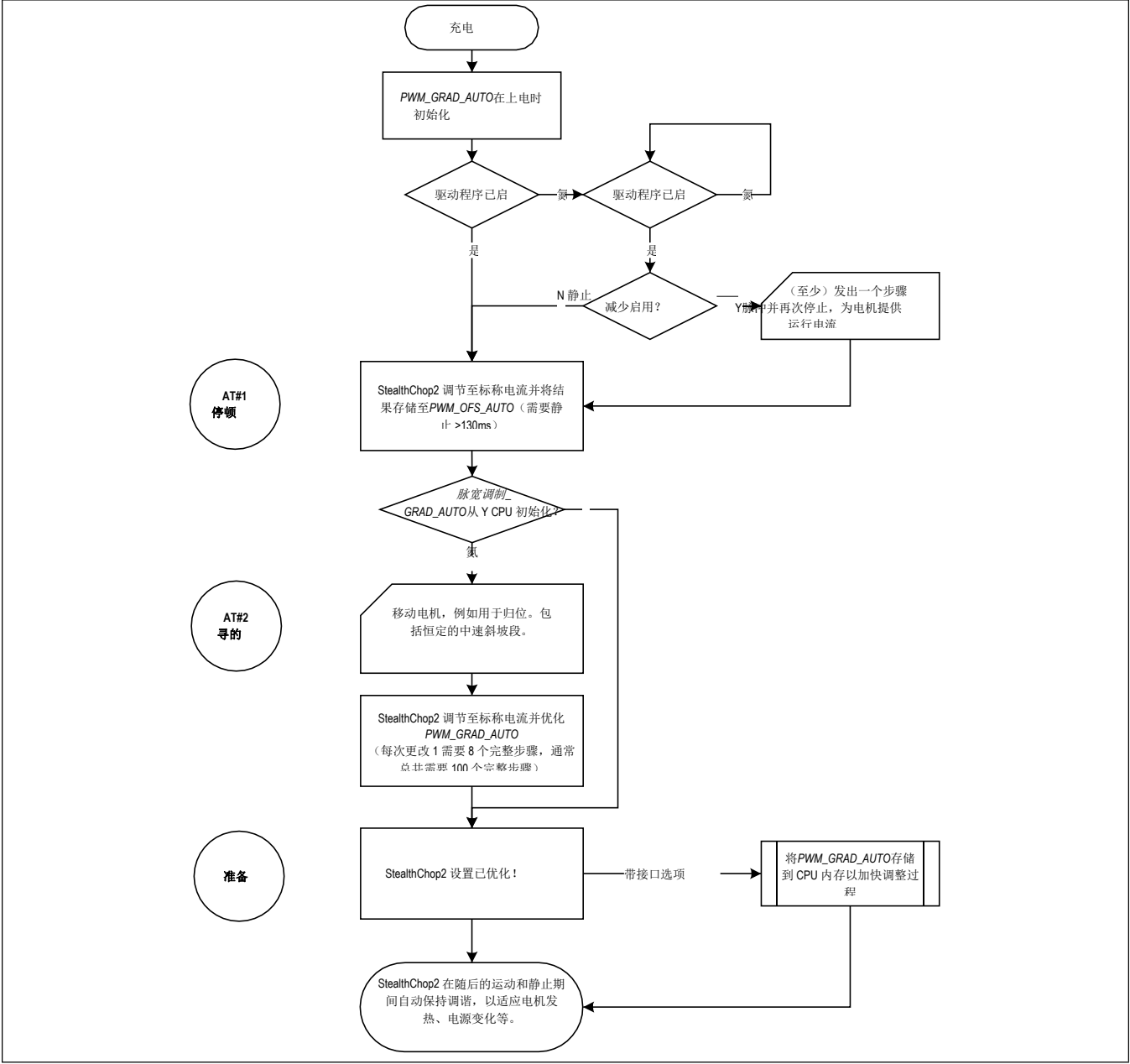


图 9. StealthChop2 自动调整程序

表 11. StealthChop2 的 PWM 频率选择 (粗体 = 推荐)

时钟频率 fCLK	PWM_FREQ = %00 fPWM= 2/1024 fCLK	PWM_FREQ = %01 fPWM= 2/683 fCLK	PWM_FREQ = %10 fPWM= 2/512 fCLK	PWM_FREQ = %11 fPWM= 2/410 fCLK
20兆赫兹	39.1kHz	58.1kHz	78.1kHz	97.6kHz
18兆赫	35.2kHz	52.7kHz	70.3kHz	87.8kHz
16兆赫	31.3kHz	46.9kHz	62.5kHz	78.0kHz

表 11.StealthChop2 的 PWM 频率选择（粗体 = 推荐）（续）

12.5MHz（内部）	24.4kHz	36.6kHz	48.8kHz	61.0kHz
10兆赫兹	19.5kHz	29.3kHz	39.1kHz	48.8kHz
8兆赫	15.6kHz	23.4kHz	31.2kHz	39.0kHz

StealthChop2 电流调节器

在 StealthChop2 电压 PWM 模式下，自动缩放功能（`pwm_autoscale= 1`、`pwm_auto_grad= 1`）将电机电流调节至所需的电流设置。自动缩放用作 AT 过程的一部分，并用于随后跟踪电机参数内的变化。驱动器在斩波期间按时测量电机电流，并使用比例调节器调节 `PWM_SCALE_AUTO`，以使电机电流与目标电流匹配。`PWM_REG` 是该调节器的比例系数。基本上，比例系数应尽可能小，以获得稳定且软的调节行为，但它必须足够大，以便驱动器能够快速对电机目标电流变化引起的变化做出反应（例如，`VREF`）。在初始调谐步骤 `AT#2` 期间，`PWM_REG` 也会补偿电机速度的变化。因此，`AT#2` 期间的高加速度需要更高的 `PWM_REG` 设置。通过仔细选择归位速度和加速度，调节梯度的最小设置通常就足够了（`PWM_REG= 1`）。`PWM_REG` 设置应针对所需的最快加速和减速斜坡进行优化（比较以下两图）。

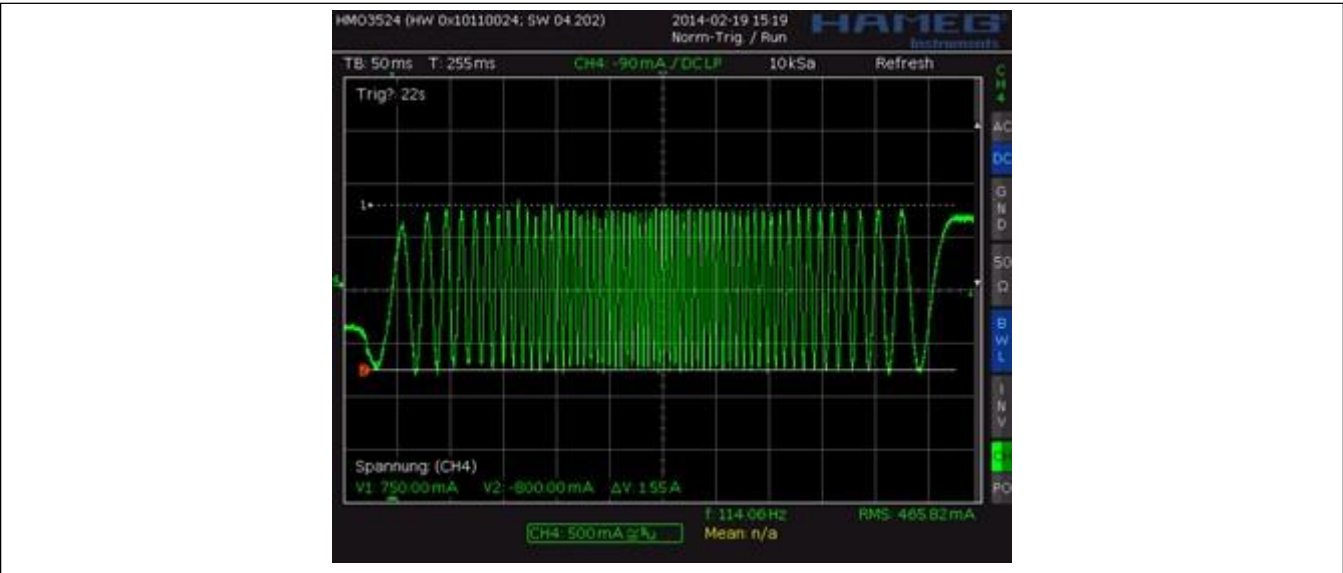


图 10.隐形砍2： PWM_REG 的良好设置

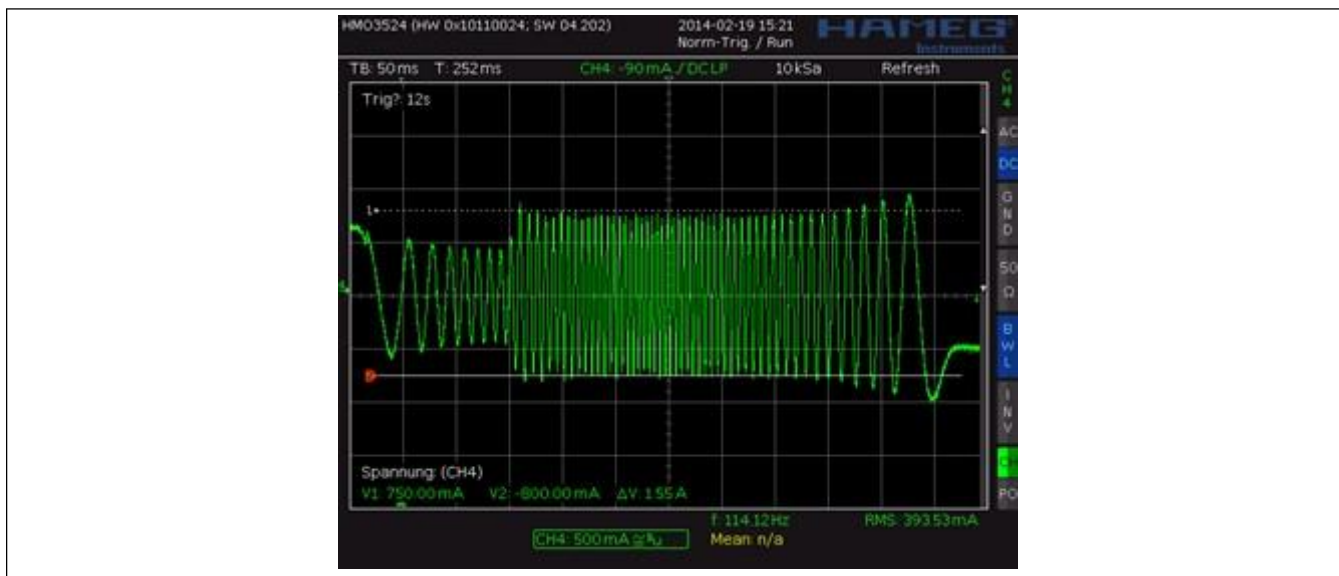


图 11. 隐形砍2: AT#2 期间 PWM_REG 设置过小

可以检查 AT#2 阶段中 PWM_REG 设置的质量以及完成的自动调谐过程（或 PWM_OFS 和 PWM_GRAD 的非自动设置）：在加速阶段监控电机电流，如下图所示。

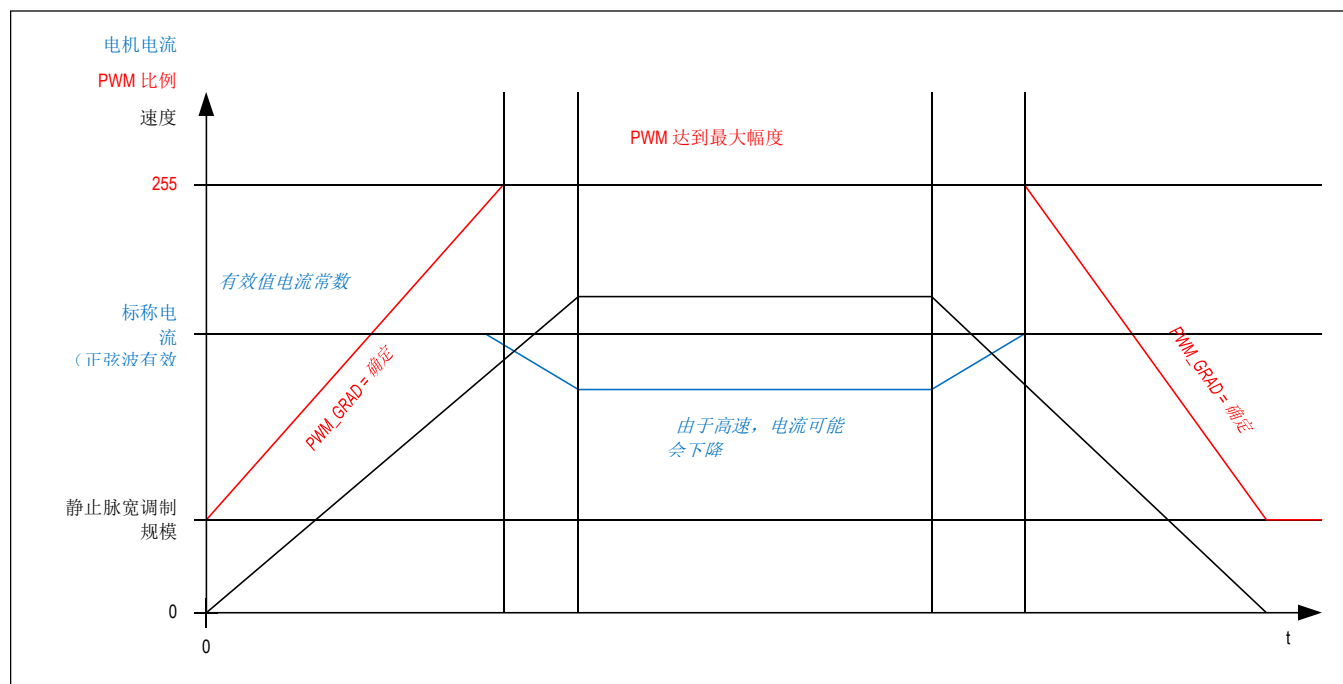


图 12. 成功确定 PWM_GRAD(AUTO) 和 PWM_OFS(AUTO)

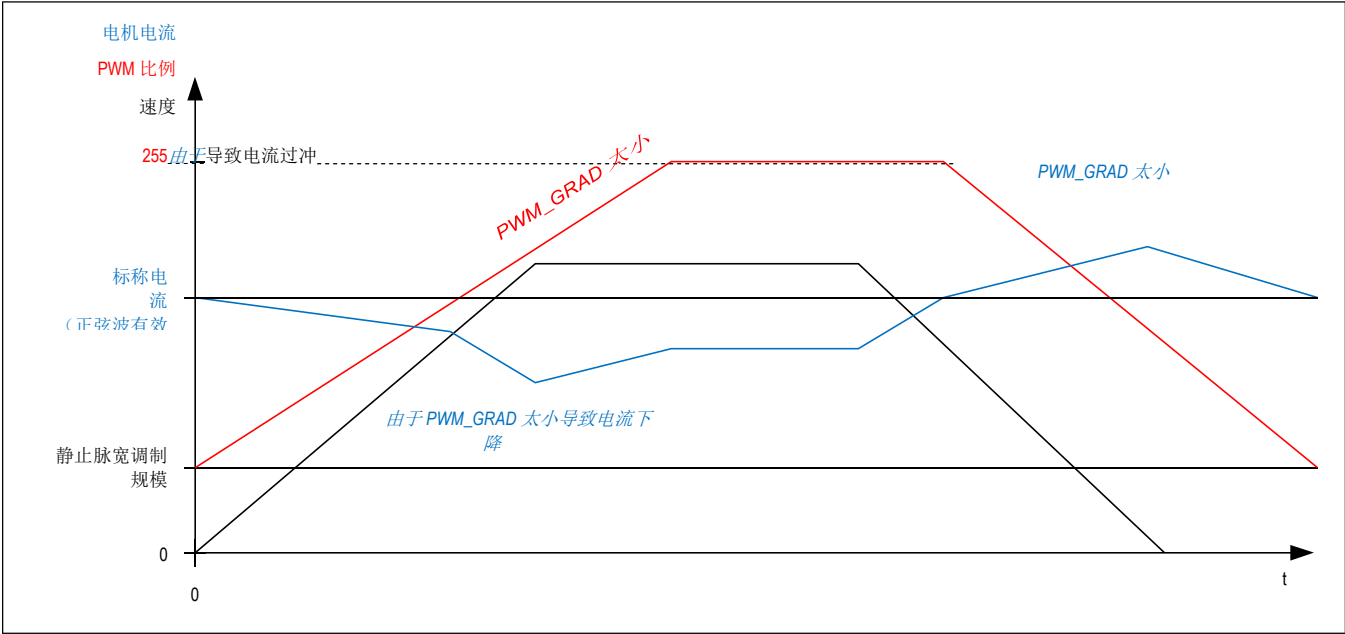


图 13. PWM_GRAD 设置过小的示例

电流下限

根据 `pwm_meas_sd_enable` 的设置，StealthChop2 电流调节器原理对电机电流调节施加了下限。由于仅在斩波器导通阶段测量线圈电流 (`pwm_meas_sd_enable = 0`)，因此允许线圈电流调节的最小斩波器占空比由 `TBL` 设置的消隐时间给出斩波器频率设置。因此，StealthChop2 自动调节模式下电机特定的最小线圈电流随着电源电压和斩波器频率的增加而增加。较短的消隐时间允许较低的电流限制。对于正确确定 `PWM_OFS_AUTO` 非常重要，在 `AT#1` 中，运行电流、`GLOBALSCALER`、和 `IRUN` 完全在调节范围内。根据 `PWM_OFS_AUTO` 和 `PWM_GRAD_AUTO` 分别基于 `PWM_OFS` 和 `PWM_GRAD` 自动实现较低电流（例如，用于静态断电）- 自动电流缩放。续流选项允许电机电流为零。

StealthChop2 自动调谐的电机线圈电流下限 (`pwm_meas_sd_enable = 0`):

$$I_{\text{下限}} = t_{\text{空白}} \times \frac{VS}{f_{\text{PWM}} \times R_{\text{COIL}}}$$

其中，`VS` 为电机电源电压，`RCOIL` 为电机线圈电阻。

`ILowerLimit` 可视为最小标称 `IRUN` 电机电流设置的经验值。如果下限不足以达到所需设置，请务必设置 `pwm_meas_sd_enable = 1`。

`fPWM` 是通过设置 `PWM_FREQ` 确定的斩波器频率。

例子：电机的线圈电阻为 5Ω ，电源电压为 $24V$ 。当 `TBL = %01` 且 `PWM_FREQ = %00` 时，`tBLANK` 为 24 个时钟周期，`fPWM` 为 $2/(1024 \text{ 个时钟周期})$ ：

$$I_{\text{下限}} = \frac{24 \times 24V}{1024 \times 5\Omega} = 225mA$$

这意味着考虑到所有相关设置，自动调谐的电机目标电流必须为 **225mA** 或更大。该电流下限也适用于通过 `GLOBALSCALER` 修改电机电流。

注意：

对于自动调谐，适用较低的线圈电流限制。

$IRUN \geq 8$: $IRUN$ 的当前设置低于 8 不适用于自动调谐。

我下限: 根据自动调谐位 $pwm_meas_sd_enable$ (在寄存器 $PWM_CONF[22]$) 的设置, 应用线圈电流下限。自动调谐阶段 AT#1 中的电机电流必须超过该下限。计算 $I_LOWERLIMIT$ 或使用电流探头进行测量。自动调谐成功后, 可以通过修改 $IRUN$ 和 $IHOLD$, 将运行期间的电机运行电流或保持电流设置为低于电流下限。电流下限还限制了驱动器响应 $GLOBALSCALER$ 变化的能力。

电流下限还限制了驱动器响应 $GLOBALSCALER$ 变化的能力。

为了克服下限, 设置 $pwm_meas_sd_enable = 1$ 。这使得 IC 能够额外测量慢衰减阶段的线圈电流。

基于速度的缩放

基于速度的缩放根据每两个步骤之间的时间缩放 $StealthChop2$ 幅度, 例如, 基于以时钟周期测量的 $TSTEP$ 。这个概念基本上不需要电流测量, 因为不需要调节环路。仅当设置 $pwm_autoscale = 0$ 时, 才可通过编程实现纯基于速度的缩放。基本思想是获得将目标电流驱动到电机所需的电压的线性近似值。步进电机具有一定的线圈电阻, 因此需要一定的电压幅值才能根据基本公式 $I = U/R$ 产生目标电流。R 是线圈电阻, U 是按 PWM 值缩放的电源电压, 得出电流 I。 PWM_OFS 的初始值可以计算:

$$PWM_OFS = \frac{374 \times R_{COIL} \times I_{COIL}}{VS}$$

其中 VS 为电机电源电压, I_{COIL} 为目标 RMS 电流

考虑 8 位分辨率和实际 PWM 幅度的 248 个正弦波峰值, 有效 PWM 电压 $UPWM$ ($1/\sqrt{2}$ x 峰值) 结果显示为 PWM_SCALE :

$$UPWM = VS \times \frac{PWM_SCALE \times 248 \times 1}{256} = VS \times \frac{PWM_SCALE}{374}$$

随着电机速度的增加, 电机产生的反电动势电压也随之增加。反电动势电压与电机速度成正比。它降低了线圈电阻上有效的 PWM 电压, 从而降低了电流。TMC2240 提供第二个速度相关因子 (PWM_GRAD) 来对此进行补偿。该模式下的总体有效 PWM 幅度 (PWM_SCALE_SUM) 根据微步频率自动计算, 如下所示:

$$PWM_SCALE_SUM = PWM_OFS \times (CS_ACTUAL + 1) + PWM_GRAD \times \frac{fSTEP}{256}$$

CS_ACTUAL 考虑由 $IHOLD$ 和 $IRUN$ 或分别由 CoolStep 定义的实际电流缩放。

其中 $fSTEP$ 是相当于 256 微步分辨率的微步频率, $fCLK$ 是提供给驱动器的时钟频率或实际内部频率。

作为第一个近似, 反电动势从电源电压中减去, 因此有效电流幅度减小。这样, 可以计算 PWM_GRAD 设置的第一个近似值:

$$PWM_GRAD = C_{反电} \left[\frac{V_{拉德}}{V} \right] \times \frac{2\pi}{1.46} \times \frac{fCLK \times}{VM \times MSPR}$$

$CBEMF$ 是电机的反电动势常数, 单位为伏/弧度/秒。

$MSPR$ 是与 1/256 微步分辨率相关的每转微步数, 例如, 对于 1.8° 电机, $51200 = 256$ 微步乘以 200 全步。

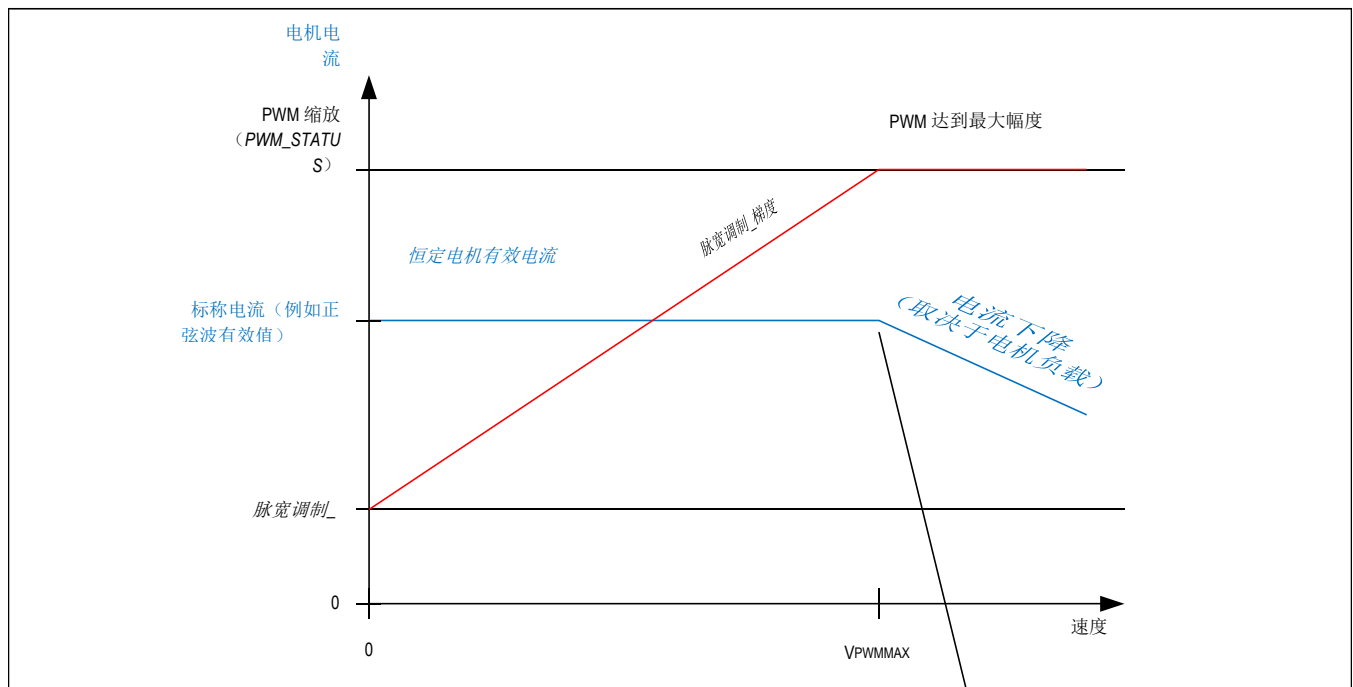


图 14. 基于速度的 PWM 缩放 (pwm_autoscale = 0)

通过使用示波器上的电流探头跟踪电机电流，可以轻松优化 **PWM_OFS** 和 **PWM_GRAD** 的值。或者，自动调节确定这些值，并且可以从 **PWM_OFS_AUTO** 和 **PWM_GRAD_AUTO** 中读出它们。

了解电机的反电动势常数：

反电动势常数是电机以一定速度转动时产生的电压。电机数据表通常不会指定该值，因为它可以从电机扭矩和线圈电流额定值中扣除。在 SI 单位内，反电动势常数 **CBEMF** 的数值与扭矩常数的数值具有相同的数值。例如，扭矩常数为 **1 Nm/A** 的电机的 **CBEMF** 为 **1V/rad/s**。以 **1rps**（**1rps** = 每秒 1 转 = **6.28 rad/s**）转动此类电机会产生 **6.28V** 的反电动势电压。因此，反电动势常数可以计算为：

$$CBEMF \left[\frac{V}{rad/s} \right] = \text{保持扭矩 [Nm]}$$

ICOILNOM 是指定保持扭矩下电机的额定 RMS 相电流。

HoldingTorque 是电机特定的保持扭矩，例如，两个线圈上 **ICOILNOM** 处达到的扭矩。扭矩单位为 **[Nm]**，其中 **1Nm = 100Ncm = 1000mNm**。

电压有效为每个线圈的 RMS 电压，因此在此公式中标称电流乘以 2，因为标称电流采用全步位置，有两个线圈运行。

结合 StealthChop2 和 SpreadCycle

对于需要高速运动的应用，**SpreadCycle** 可以在较高速度范围内带来更稳定的操作。为了将无噪声操作与最高动态性能相结合，**TMC2240** 允许根据速度阈值将 **StealthChop2** 和 **SpreadCycle** 结合起来。这样，**StealthChop2** 仅在低速时有效。

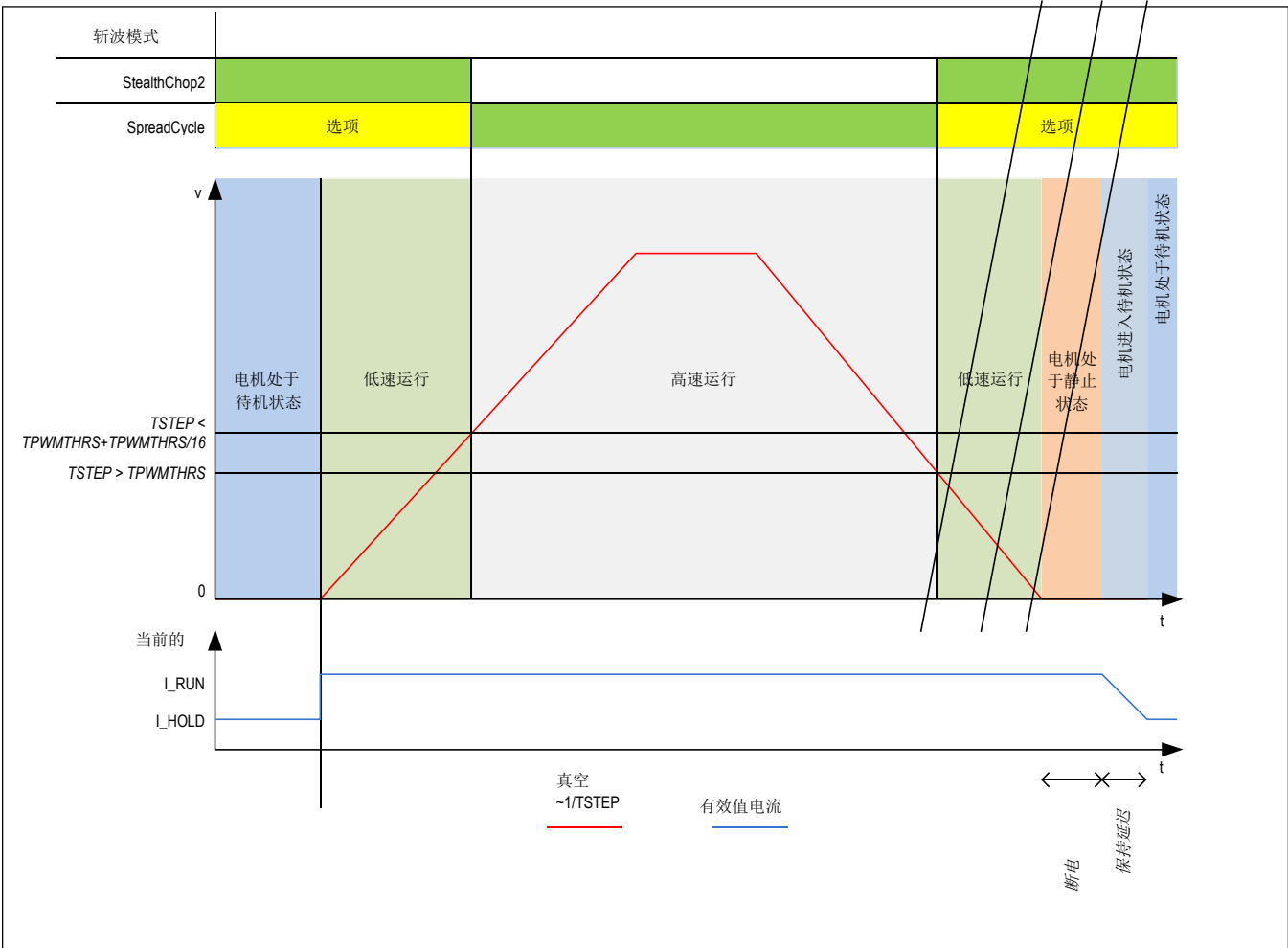


图 15. TPWMTHRS 用于可选切换到 SpreadCycle

第一步，应分别对两种斩波器原理进行参数化和优化。

下一步，必须定义切换速度。例如，StealthChop2操作用于精确的低速定位，而SpreadCycle则用于高动态运动。TPWMTHRS确定该转换速度。以所需速度移动时，读出TSTEP，并将结果值编程到TPWMTHRS中。使用低传输速度以避免切换点出现冲击。

无冲击切换到 SpreadCycle:

以较高速度切换时会出现急动，因为电机的反电动势（随速度升高）会导致电机电压和电机电流之间出现高达 90° 的相移。因此，当在电压 PWM 和电流 PWM 模式之间以较高速度切换时，这种急动的发生强度会增加。高冲击甚至可能产生暂时的过流状况（取决于电机线圈电阻）。在低速（例如，1 到几个 10RPM）时，对于大多数电机来说，它可以完全忽略。因此，在 SpreadCycle 和 StealthChop2 之间切换驱动程序时请考虑急动。通过 TPWMTHRS 控制的自动切换，驱动器可以通过使用 StallGuard4 确定相移来自动消除急动。它将相同的相移应用于 SpreadCycle，直到速度回落到切换阈值以下。设置标志 SG4_THRS.sg_angle_offset 以启用此功能。

如果您只想使用 StealthChop2，请将 TPWMTHRS 设置为零。

首次使用自动电流调节启用 StealthChop2 模式时，电机必须处于静止状态，以便进行适当的电流调节。当驱动器以较高速度切换到 SpreadCycle 时，StealthChop2 逻辑会存储最后的电流调节设置，直到电机再次返回到较低速度。这样，当返回到较低速度时，调节就有一个已知的起点，此时 StealthChop2 会重新启用。因此，在斩波器切换到不同模式时，速度阈值和电源电压都不必在该阶段发生显著变化，否则，电机可能会失步，或者瞬时电流可能过高或过低。

电机失速或电机速度突然变化可能会导致驱动器检测到短路或进入自动电流调节状态，并且无法恢复。清除错误标志并从零速度重新启动电机以从这种情况中恢复。

首次打开 StealthChop2 时，将电机从静止状态启动，并使其停止至少 128 个斩波周期，以允许 StealthChop2 进行初始静止电流控制。

StealthChop2 中的标志

由于 StealthChop2 使用电压模式驱动，基于电流测量的状态标志响应较慢，驱动器对反电动势突然变化的反应延迟，例如电机失速。

StealthChop2 运行期间电机停转或运动突然停止可能会导致过流情况。根据之前的电机速度以及电机的线圈电阻，电机电流会在数十毫秒内显著增加。在低速情况下，反电动势只是电源电压的一小部分，因此不存在触发短路检测的危险。

将驱动级切换到支持电机的最低电流范围 (DRV_CONF.current_range)。这会分三步自动调整过流阈值，从而在电机突然停转时降低峰值电流。

打开加载标志

在 StealthChop2 模式中，标志 OLA 和 OLB 的状态信息与逐周期调节的 SpreadCycle 模式不同。

- 如果未设置 OLA 和 OLB，则表明两个线圈上的电流调节均达到标称电流。
- 如果 OLA 和 OLB 标志恒定，则表示电机线圈中断。
- 如果 OLA 和 OLB 闪烁，则表明电机线圈电阻的差异超过大约 5%。
- 如果电流调节在最后几个全步内未能成功放大到完整目标电流（因为没有连接电机或高速超过 PWM 限制），则一个或两个标志均处于活动状态。

如果需要，可以使用 SpreadCycle 斩波器进行按需开路负载测试，因为它可以提供最安全的结果。使用 StealthChop2，可以检查 PWM_SCALE_SUM 以检测正确的线圈电阻。

PWM_SCALE_SUM 通知电机状态

通过读取 PWM_SCALE_SUM 可以通过自动缩放获得有关电机状态的信息。由于该参数反映了将目标电流驱动到电机所需的实际电压，因此它取决于多个因素：电机负载、线圈电阻、电源电压和电流设置。因此，通过评估 PWM_SCALE_SUM 值可以检查电机工作点。当达到极限 (1023) 时，电流调节器无法维持满电机电流，例如，由于电源电压永久或暂时下降。

惯性制动和被动制动

StealthChop2 提供了不同的电机停止选项。可通过将静止电流 IHOLD 设置为零并使用 FREEWHEEL 设置选择所需选项来启用这些选项。在 TPOWERDOWN 和 IHOLDDELAY 指定的时间段后，所需选项将启用。一旦电机目标电流为零电流，电流调节就会冻结，以确保快速启动。通过自由轮选项，可以实现自由轮和被动制动。被动制动是一种有效的涡流电机制动，由于没有有功电流进入线圈，因此消耗的能量最少。然而，当施加连续扭矩时，被动制动允许电机缓慢转动。

控制 StealthChop2 的参数

下表包含与 StealthChop2 斩波器模式相关的所有参数。

表 12.控制 StealthChop2 的参数

范围	描述	环境	评论
en_pwm_模式	一般启用 StealthChop2（寄存器 GCONF）。默认 = 0	0	StealthChop2 已禁用。SpreadCycle 处于活动状态。
		1	StealthChop2 已启用（取决于速度阈值）。仅在静止状态且 IHOLD=标称 IRUN 电流时启用。
pwm_meas_sd_使能	慢衰减阶段电流测量的控制。默认 = 0	0	仅在导通阶段测量电流。适用电流下限。
		1	在缓慢衰减阶段测量电流还可以克服电流下限。
pwm_dis_reg_stst	该选项消除了静止期间的任何调节噪音。默认 = 0	0	电流调节始终开启。
		1	当电机处于静止状态并且电流减小（小于 IRUN）时，禁用电流调节。
脉宽调制THRS	指定 StealthChop2 中操作的上限速度。输入以所需阈值速度运行时的 TSTEP 读数（两个微步之间的时间）。 默认 = 0	0 ... 1048575	如果 TSTEP 低于 TPWMTHRS, StealthChop2 将被禁用
脉宽调制_LIM	从 SpreadCycle 切换到 StealthChop2 时限制电流急动的限值。减小该值可产生较低的电流急动度。 默认 = 12	0 ... 15	8 位幅度限制的高四位
pwm_自动缩放	使用电流测量启用自动电流缩放。如果关闭，则使用基于前向控制速度的模式。 默认 = 1	0	正向控制模式
		1	使用电流调节器自动缩放
脉宽调制_自动梯度	启用 PWM_GRAD_AUTO 自动调整 默认 = 1	0	禁用，使用寄存器中的 PWM_GRAD 代替
		1	使能够
脉宽调制频率	PWM频率选择。使用最低设置可以获得良好的结果。在每个斩波器输出处测得的频率是有效斩波器频率 fPWM的一半。 默认 = 0	0	fPWM= 2/1024 fCLK
		1	fPWM= 2/683 fCLK
		2	fPWM= 2/512 fCLK
		3	fPWM= 2/410 fCLK
脉宽调制寄存器	用户定义 PWM 调幅环路 P 系数。当 pwm_autoscale = 1 时，值越高，自适应速度越快。 默认 = 4	1 ... 15	PWM_SCALE_AUTO 的结果为 0.5 至 7.5 步每全步调节器

表 12.控制 StealthChop2 的参数（续）

脉宽调制_OFS	用户定义的 PWM 幅度（偏移）用于基于速度的缩放，以及用于自动调整 PWM_OFFS_AUTO 的初始化值。 默认 = 0x1D	0 ... 255	PWM_OFS = 0 禁用基于电流设置的线性电流缩放
脉宽调制_梯度	用户定义的 PWM 幅度（梯度）用于基于速度的缩放，以及用于自动调整 PWM_GRAD_AUTO 的初始化值。 默认 = 0	0 ... 255	
PWM_SCALE_SUM	实际 PWM 缩放由实际设置决定。与 PWM_GRAD/OFS_AUTO 值的 8 位相比，该值以更高的精度（10 位）显示。 默认 = 0	0 ... 1023	
飞轮	电机电流设置为零 (I_HOLD = 0) 时的静止选项。仅在启用 StealthChop2 时可用。续流选项使电机可以轻松移动，而两种线圈短选项都实现了被动制动。 默认 = 0	0	普通手术
		1	随心所欲
		2	线圈通过 LS 驱动器短路
		3	线圈通过 HS 驱动器短路
脉宽调制比例_汽车	读回由电流调节器确定的实际 StealthChop2 电压 PWM 缩放校正。整定期间应调节至接近 0。 默认 = 0	-255 ... 255	（只读）在 SpreadCycle 中操作时缩放值会被冻结
PWM_GRAD_AUTO PWM_OFFS_AUTO	允许监控自动调节并确定 PWM_OFS 和 PWM_GRAD 的初始值。 默认 = 0	0 ... 255	（只读）
时间关闭	电机驱动器通用使能，实际值不影响 StealthChop2 默认 = 0	0	司机关闭
		1 ... 15	驱动程序已启用
TBL	比较器空白时间。对于典型应用，选择设置 1 或 2。对于更高的容性负载，可能需要 3 个。较低的设置允许 StealthChop2 调节至较低的线圈电流值。 默认 = 2	0	16 tCLK
		1	24 tCLK
		2	36 tCLK
		3	54 tCLK

SpreadCycle 和经典斩波器

StealthChop2 是电压模式 PWM 控制斩波器，而 SpreadCycle 是逐周期电流控制。因此，它可以对电机速度或电机负载的变化做出极快的反应。通过两个电机线圈的电流由斩波器控制。斩波器彼此独立工作。下图显示了不同的斩波器相位。

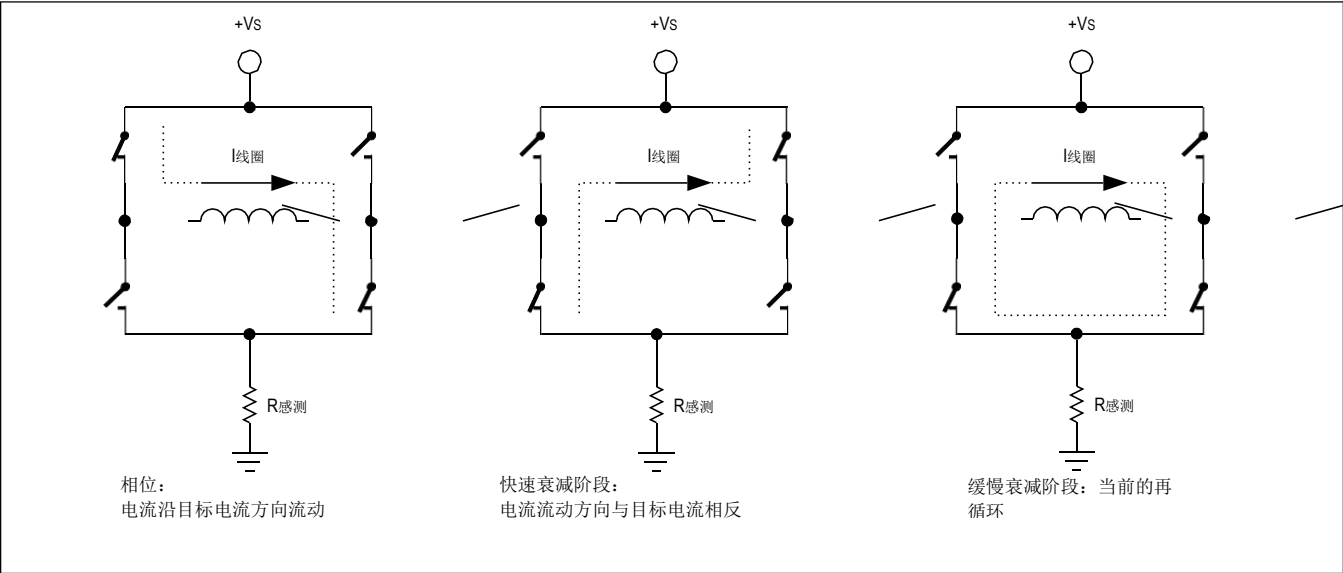


图 16. 典型斩波衰减阶段

尽管可以仅使用单相和快速衰减来调节电流，但插入慢速衰减相对于减少电机中的电损耗和电流纹波很重要。慢衰减阶段的持续时间在控制参数中指定，并设置斩波频率的上限。电流比较器在电流恰好流过一个低侧晶体管的阶段期间测量线圈电流，但在慢速衰减阶段不测量线圈电流。缓慢衰减阶段由计时器终止。当通过线圈的电流达到目标电流时，比较器终止导通阶段。快速衰减阶段可以由比较器或另一个定时器终止。

当线圈电流切换时，由于寄生电容的充电和放电，基于 $R_{DS(ON)}$ 的电流测量中会出现尖峰。在此期间（通常为一或两微秒）无法测量电流。消隐是屏蔽比较器输入以阻止这些尖峰的时间。

有两种可用的逐周期斩波模式：称为 **SpreadCycle** 的新型高性能斩波算法和经过验证的恒定关断时间斩波模式。恒定关断时间模式循环经过三个阶段：开启、快衰减和慢衰减。**SpreadCycle** 模式循环经历四个阶段：开启、慢速衰减、快速衰减和第二次慢速衰减。

斩波频率是斩波电机驱动器的重要参数。频率太低可能会产生可听噪声。较高的频率可减少电机中的电流纹波，但频率太高，磁损耗可能会增加。此外，由于引起动态耗散的开关斜率的影响增加，驱动器中的功耗随着频率的增加而增加。因此，需要找到折衷方案。大多数电机的最佳工作频率范围为 25kHz 至 40kHz。斩波器频率受许多参数设置以及电机电感和电源电压的影响。

提示: 使用 **SpreadCycle** 时，25kHz 至 40kHz 范围内的斩波频率可为大多数电机提供良好的结果。较高的频率会导致开关损耗增加。

表 13. 控制 **SpreadCycle** 和经典恒定关断时间斩波器的参数

参数说明	设置注释
------	------

表 13.控制 SpreadCycle 和经典恒定关断时间斩波器的参数（续）

时间关闭	设置慢速衰减时间（关闭时间）。该设置还限制了最大斩波频率。	0	斩波器关闭
	对于使用 StealthChop2 进行操作，不使用此参数，但需要启用电机。仅使用 StealthChop2 操作时，任何设置都可以。 将此参数设置为零会完全禁用所有驱动器晶体管，并且电机可以续流。 默认 = 0	1...15	关闭时间设置 $NCLK = 24 + 32 \times TOFF$ (1 个作品的最小空白时间为 24 个时钟)
TBL	选择比较器空白时间。这个时间需要安全地涵盖切换事件和振铃的持续时间。对于大多数应用程序，设置为 1 或 2 就很好。对于高容性负载，例如，当使用滤波器网络时，需要设置为 2 或 3。 默认 = 2	0	16 tCLK 限制：用这个仅与外部时钟振荡器 $\leq 8MHz$ 结合使用时设置
		1	24 tCLK 限制：可能用过了使用内部时钟，或者如果外部时钟频率应用 $\leq 13MHz$ 。
		2	36 tCLK
		3	54 tCLK
chm	选择斩波器模式 默认 = 0	0	传播周期
		1	经典常数。休息时间

SpreadCycle斩波器

SpreadCycle（专利）斩波算法是一种精确且易于使用的斩波模式，可自动确定快速衰减阶段的最佳长度。即使使用默认设置，SpreadCycle 也能提供卓越的微步进质量。有多个参数可用于根据应用优化斩波器。

每个斩波周期包括接通阶段、慢衰减阶段、快衰减阶段和第二慢衰减阶段。每个斩波周期的两个缓慢衰减阶段和两个空白时间设置了斩波频率的上限。缓慢衰减阶段通常占静止斩波周期的 30% - 70% 左右，对于低电机和驱动器功耗非常重要。

慢速衰减时间 $TOFF$ 起始值的计算示例：

- 目标斩波频率：25kHz
 - $t_{关闭} = 1/25kHz \times 50/100 \times 1/2 = 10 \mu s$
 - 假设：两个缓慢衰减周期占斩波器总周期时间的 50%。
- 对于 $TOFF$ 设置，这意味着： $TOFF = (t_{OFF} \times f_{CLK} - 12) / 32$
- 对于 12MHz 时钟，这会导致 $TOFF = 3.4$ ，这需要设置 $TOFF = 3$ 或 4
- 对于 16MHz 时钟，这会导致 $TOFF = 4.6$ ，这需要设置 $TOFF = 4$ 或 5

提示: 有时，将 $TOFF$ 设置为 1 或 2 以及较短的 TBL 设置有助于获得最高电机速度。

磁滞启动设置迫使驱动器向电机线圈引入最少量的电流纹波。电流纹波必须高于电机电阻损耗引起的电流纹波，才能获得最佳微步进结果。这使得斩波器能够针对上升和下降的目标电流精确调节电流。将电流纹波引入电机线圈所需的时间也会降低斩波频率。因此，较高的磁滞设置会导致较低的斩波频率。电机电感限制了斩波器跟随电机电流变化的能力。此外，开启阶段和快速衰减的持续时间必须长于消隐

时间，因为电流比较器在消隐期间被禁用。

最容易找到最佳设置的方法是从低滞后设置开始（例如， $HSTRT=0$ 、 $HEND=0$ ）并增加 $HSTRT$ ，直到电机在低速设置下平稳运行。当使用电流探头测量电机电流时可以最好地检查这一点。检查零过渡附近的正弦波形会发现两个半波之间有一个小凸缘，以防磁滞设置太小。在中等速度（例如每秒 100 个全步到 400 个全步）下，磁滞设置太低会导致电机的嗡嗡声和振动增加。太高的磁滞设置会导致斩波频率降低和斩波噪声增加，但不会对波形产生任何好处。

实验表明，该设置完全独立于电机，因为电流较高的电机通常也具有较低的线圈电阻。因此，选择低到中等的迟滞默认值（例如，有效迟滞 = 4）通常适合大多数应用。可以通过对电机进行试验来优化设置：设置太低会导致微步精度降低，而设置太高会导致斩波噪声和电机功耗增加。当快速衰减时间变得比消隐时间稍长时，该设置是最佳的。如果难以达到，您可以减少关闭时间设置。

在某些情况下，磁滞原理可能会导致斩波器频率变得太低，例如，当线圈电阻与电源电压相比较高时。通过将滞后设置分为开始设置 ($HSTRT + HEND$) 和结束设置 ($HEND$) 可以避免这种情况。自动迟滞递减器 (HDEC) 通过每 16 个系统时钟逐步递减迟滞值，在两种设置之间进行插值。在每个斩波周期开始时，迟滞以起始值和结束值之和开始 ($HSTRT+HEND$)，并在周期中递减，直到斩波器周期结束或达到滞后结束值 ($HEND$)。这样，如果频率变得太低，则斩波器频率可以稳定在高振幅和低电源电压的情况下。这样可以避免频率达到可听范围。

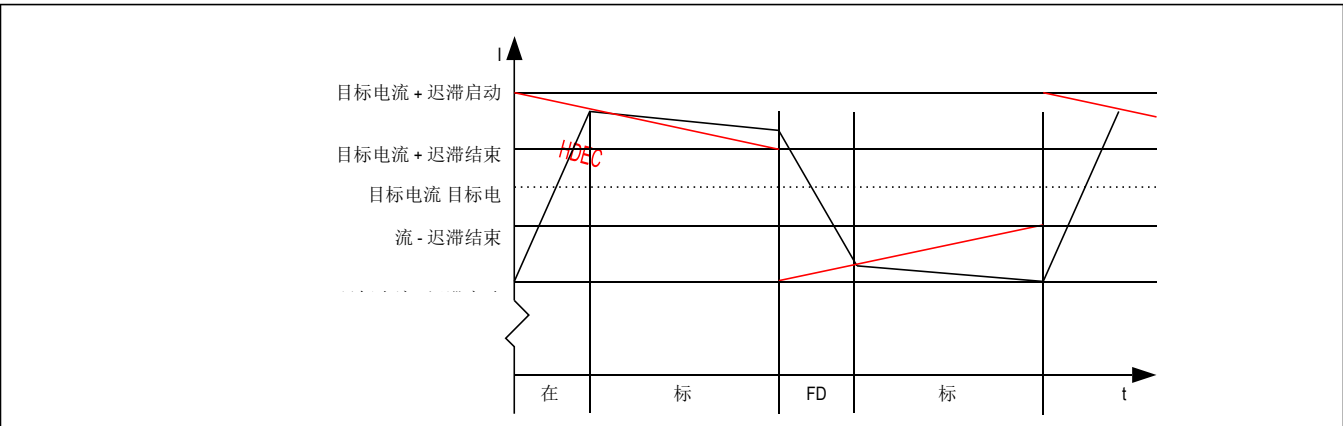


图 17. SpreadCycle 斩波器方案显示斩波周期期间的线圈电流

表 14. SpreadCycle 模式参数

范围	描述	环境	评论
$HSRT$	迟滞启动设置。该值是相对于滞后最终值 $HEND$ 的偏移。默认 = 5	0...7	$HSTRT=1\cdots8$ 该值添加到 $HEND$ 中。
亨德	迟滞结束设置。设置多次递减后的迟滞最终值。 $HSTRT+HEND$ 之和必须 ≤ 16 。当前设置为最大。30（幅度减少到240），总和不限。 默认 = 2	0...2 3	-3...-1: 负 $HEND$ 0: 零 $HEND$

表 14.SpreadCycle 模式参数（续）

		4…15	1…12: 积极的
--	--	------	-----------

即使在 $HSTRT = 0$ 且 $HEND = 0$ 时，TMC2240 也会通过模拟电路设置最小迟滞。例子：
选择了 4 的滞后。您可能决定不使用滞后衰减。在这种情况下设置：
 $HEND= 6$ （设置有效最终值为 $6 - 3 = 3$ ）
 $HSTRT= 0$ （设置最小滞后，例如 $1: 3 + 1 = 4$ ）
为了利用可变滞后，我们可以将大部分值设置为 $HSTRT$ ，例如 4，剩余的 1 为滞后结束。结果配置寄存器值如下：
 $HEND= 0$ （设置有效最终值为 -3）
 $HSTRT= 6$ （设置迟滞结束的有效起始值+7: $7 - 3 = 4$ ）

经典恒定关断时间斩波器

经典的恒定关断时间斩波器是 SpreadCycle 的替代品。完美调整，也能带来良好的效果。与无需外部检测电阻的 $RDSon$ 电流检测相结合，这种斩波模式可以带来可闻高音斩波噪声方面的优势。
经典的恒定关断时间斩波器在每个接通阶段之后使用固定时间快速衰减。虽然导通阶段的持续时间由斩波比较器确定，但快速衰减时间需要足够长，以便驱动器能够跟随正弦波的下降斜率，但不应太长，否则会导致电机电流纹波过大和功耗。这可以使用示波器进行调整或评估不同速度下的电机平滑度。一个好的起始值是类似于慢速衰减时间设置的快速衰减时间设置。

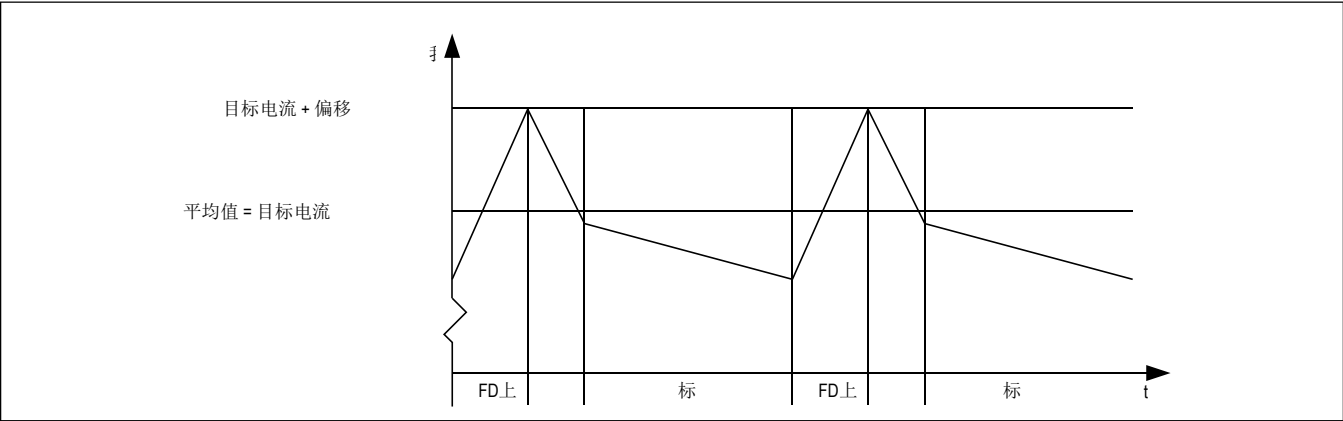


图 18.具有偏移显示线圈电流的经典恒定关断时间斩波器

调整快速衰减时间后，应调整偏移以实现平滑的过零。这是必要的，因为快速衰减阶段使电机电流的绝对值低于目标电流（见下图）。如果零偏太低，电机在电流过零期间会短暂静止。如果设置得太高，则会产生较大的微步。通常，需要正偏移设置才能实现最平稳的操作。

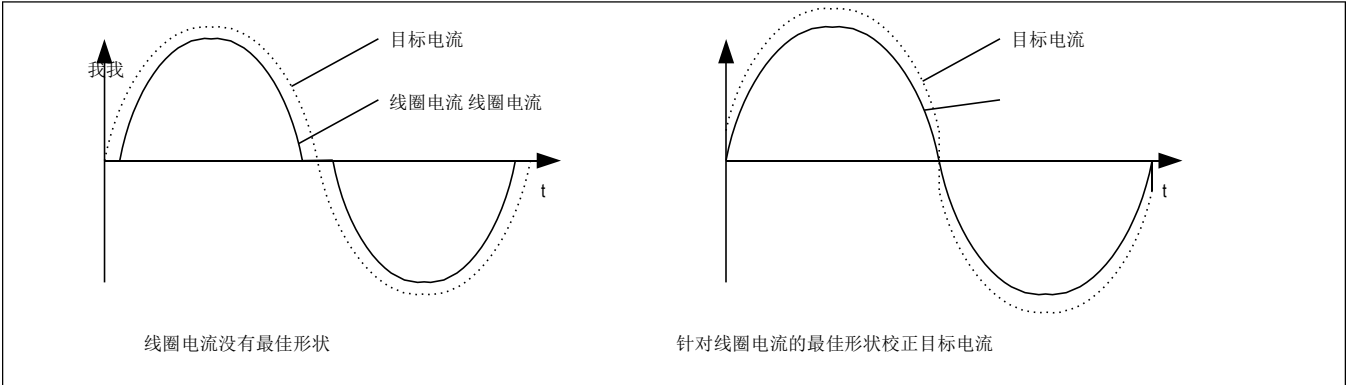


图 19. 使用经典斩波器进行过零并使用正弦波偏移进行校正

表 15. 控制恒定关断时间斩波模式的参数

范围	描述	环境	评论
TFD (fd3和 HSTRT)	快速衰减时间设置。当 CHM = 1 时，这些位控制每个斩波周期的快速衰减部分。	0	仅缓慢衰减
		1...15	快衰变阶段的持续时间
抵消 (HEND)	正弦波偏移。当 CHM = 1 时，这些位控制正弦波偏移。正偏移可纠正过零错误。	0...2	负偏移量： -3...-1
		3	无偏移：0
		4...15	正偏移 1...12
迪夫迪克	选择使用电流比较器来终止快速衰减周期。如果启用电流比较器，则在电流达到比实际正值更高的负值时，它会终止快速衰减周期。	0	启用比较器终止快速衰减周期
		1	仅按时间结束

集成电流检测

非耗散电流感应集成在 TMC2240 (ICS) 中。此功能消除了外部电流感测通常需要的笨重外部功率电阻。与基于外部检测电阻的主流应用相比，ICS 可显著节省空间和功耗。为了获得最佳性能，ICS 会单独测量每个功率 MOSFET 的 $R_{DS(ON)}$ ，同时考虑各个 MOSFET 的温度，以产生最佳结果。

设置电机电流

TMC2240 允许设置电机相电流。下表中给出的参数允许调整电流缩放以及电流斜坡上升和斜坡下降。

参数说明		设置注释	
伊润	电机运行时的电流刻度。缩放取自内部正弦波表的线圈电流值。对于高精度电机操作，请使用 16 至 31 范围内的电流缩放因子，因为缩小电流值会导致微步变得更粗糙，从而降低有效微步分辨率。此设置还控制 CoolStep 设置的最大电流值。 默认 = 31	0...31	比例因子 1/32、 2/32

表 16. 控制电机电流的参数

表 16.控制电机电流的参数（续）

我持有	与 IRUN 相同，但适用于静止状态的电机。 与 IRUN 相比，IHOLD 的值小于 16 就可以了。 默认 = 8		
保持延迟	允许电流从运行电流平滑降低到保持电流。IHOLDDELAY 控制 TZEROWAIT 之后电机断电的时钟周期数，增量为 218 时钟：0 = 立即断电，1..15：每个电流步骤的电流降低延迟，以 218 时钟的倍数表示。 例子：当使用 IRUN = 31 且 IHOLD = 16 时，需要 15 个电流阶跃来降低保持电流。IHOLDDELAY 设置为 4 因此会导致 4 x 15 x 218 个时钟周期的断电时间，例如，在 16MHz 时大约为一秒。 默认 = 1	0	瞬间断电至 IHOLD
		1...15	1 x 218... 15 x 218 每个当前递减的时钟数
伊伦延迟	控制检测到启动后电机通电的时钟周期数。 允许在运动开始时从保持电流 (IHOLD) 到运行电流 (IRUN) 平滑地增加电流。虽然快速通电对于建立完整的电机扭矩很重要，但较小的延迟时间有助于减少噪音并避免电源电流的跳跃。 默认 = 4	0	瞬时功率高达 IRUN
		1...15	每个电流增量步长的延迟 (以 IRUNDELAY x 的倍数表示) 512 个时钟

设置满量程电流范围

满量程电流 IFS 是峰值电流设置。

满量程电流通过外部参考电阻和 DRV_CONF 寄存器中的 2 位进行选择。精度为 1% 的标准低功率电阻就足够了。

可配置三种不同的满量程电流范围，以适应不同的电机尺寸和应用。这是从最佳电流控制分辨率中受益所必需的。

因此，在 IREF 和 GND 之间连接一个电阻器以设置满量程斩波电流 IFS。

DRV_CONF 寄存器中的位 1..0 定义驱动器级的典型导通电阻，并根据外部电阻进一步控制满量程范围。

下面的公式显示了满量程电流 IFS 作为连接到引脚 IREF 的 RREF 电阻器和 DRV_CONF 寄存器位设置的函数。

比例常数 KIFS 取决于所选的满量程范围设置 (DRV_CONF 寄存器位 1..0)。外部电阻器 RREF 的范围可以在 12kΩ 到 60kΩ 之间。

$$IFS = KIFS(KV) / R_{参考}(k\Omega)$$

表 17.IFS 满量程峰值范围设置 (RREF= 12kΩ 的示例)

注册配置	KIFS (Ax 千欧)	最大限度。FS 设置 (峰值)	典型 RDS(ON)(HS + LS)	笔记
DRV_CONF 位 1..0				
11	36	3A	0.23 Ω	优化效率并将工作范围扩展至 3AFS。
10	36	3A	0.23 Ω	优化效率并将工作范围扩展至 3AFS。
01	24	2A	0.27 Ω	工作范围降低至 2AFS。当需要较低电流下的高精度时。

表 17.IFS满量程峰值范围设置（RREF= 12kΩ 示例）（续）

00（默认）	11.75	1A	0.40	工作范围降低至 1AFS。当需要低电流下的高精度时。
--------	-------	----	------	----------------------------

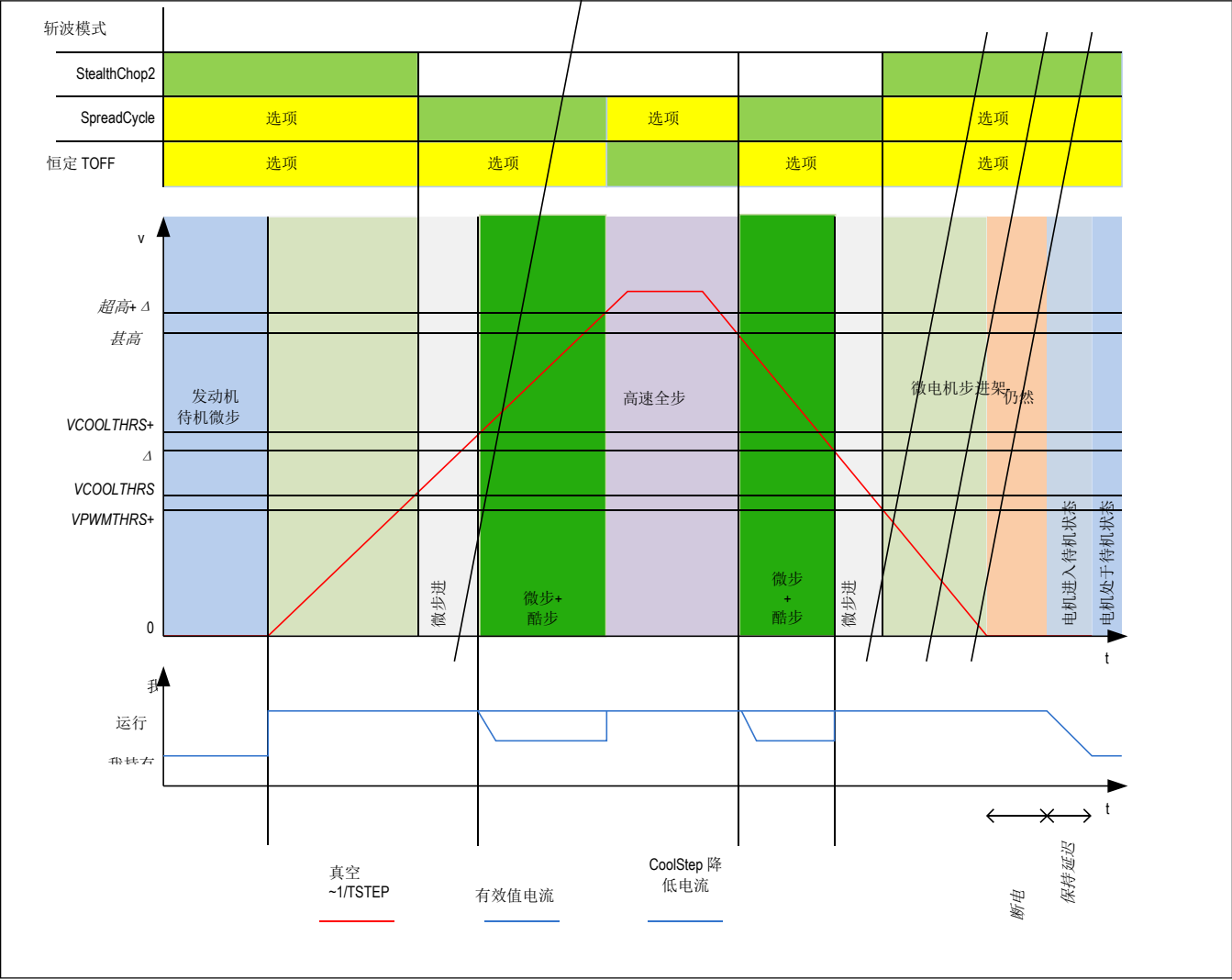
下表是不同参考电阻值（在引脚 IREF 处）与满量程电流的不同引脚配置的矩阵。每个电池中都给出了所得的最大 RMS 电流。

表 18.IFS基于 DRV_CONF 位 1..0 设置和不同 RREF的满量程 RMS 电流（以安培为单位）(A RMS)

RREF(kΩ)	基于 DRV_CONF 位 1..0 设置和 K 的最大满量程电流 (A RMS)IFS(A x kΩ)			
	DRV_CONF 位 1..0 = 11	DRV_CONF 位 1..0 = 10	DRV_CONF 位 1..0 = 01	DRV_CONF 位 1..0 = 00
	KIFS= 36	KIFS= 36	KIFS= 24	KIFS= 11.75
12	2,12	2,12	1,41	0,69
15	1,70	1,70	1,13	0,55
18	1,41	1,41	0,94	0,46
22	1,16	1,16	0,77	0,38
27	0,94	0,94	0,63	0,31
33	0,77	0,77	0,51	0,25
39	0,65	0,65	0,44	0,21
47	0,54	0,54	0,36	0,18
56	0,45	0,45	0,30	0,15

基于速度的模式控制

TMC2240 允许配置不同的斩波器模式和操作模式，以实现最佳电机控制。根据电机负载，可以优化不同的模式，以实现最低噪音和高精度、最高动态或最高速度下的最大扭矩。CoolStep 或 StallGuard2 等一些功能在有限的速度范围内很有用。许多速度阈值允许在需要宽速度范围的应用中组合不同的操作模式。



该图显示了所有可用的阈值和所需的排序。VPWMTHRS、VHIGH 和 VCOOLTHRS 由设置TPWMTHRS、THIGH、和TCOOLTHRS 确定。速度由每两个步进脉冲之间的时间间隔TSTEP描述。这允许在使用外部步进源时确定速度。TSTEP始终标准化为 256 微步。这样，当微步分辨率改变时，不必调整阈值。阈值代表相同的电机速度，与微步设置无关。TSTEP与这些阈值进行比较。滞后分别为 1/16TSTEP。应用 1/32TSTEP以避免在TSTEP测量中发生抖动时比较结果的连续切换。上限开关速度分别提高了 1/16。设置阈值的 1/32。电机电流可根据静止标志stst编程为运行和保持水平。使用自动速度阈值可以针对不同的速度范围调整应用程序。CoolStep 等功能将完全透明地集成到您的设置中。这样，一旦参数化，它们就不需要通过软件进行任何激活或停用。

表 19.基于速度的模式控制参数

范围	描述	环境	评论
STST	指示每种操作模式下的电机停止状态。时间是最后一个步进脉冲后的 2^20 个时钟。	0/1	状态位，只读
断电	这是电机停止后 (stst) 到电机电流断电的延迟时间。时间范围约为0到4秒。设置0为无延迟，1为一个时钟周期延迟。进一步的增量以 2^18 个时钟周期的离散步骤进行。	0...255	2^18 的倍数时间 tCLK
TSEP	两个 1/256 微步之间的实际测量时间源自以 1/fCLK 为单位的阶跃输入频率。测量值为 (2^20)-1 英寸发生溢出或停顿的情况。	0...1048575	状态寄存器，只读。实际测量的步数时间 t 的倍数CLK
脉宽调制THRS	TSTEP ≥ TPWMTHRS StealthChop2 PWM 模式已启用（如果已配置）	0...1048575	设置控制上部 StealthChop2 中操作的速度阈值
酷思	TCOOLTHRS ≥ TSTEP ≥ 大腿: - CoolStep 已启用（如果已配置） - StealthChop2 电压 PWM 模式已禁用 TCOOLTHRS ≥ TSTEP - 失速输出信号启用（如果已配置）	0...1048575	设置以控制 CoolStep 和 StallGuard2 操作的较低速度阈值
大腿	TSTEP ≤ 大腿: - CoolStep 被禁用（电机以正常电流范围运行） - StealthChop2 电压 PWM 模式已禁用 - 如果设置了 vhighchm，则斩波器切换到 chm= 1，且 TFD= 0（仅具有缓慢衰减的恒定关闭时间）。 - 斩波器同步已关闭（SYNC= 0） - 如果设置了 vhighfs，则电机以全步模式运行，失速检测将切换为全步失速检测。	0...1048575	设置控制 CoolStep 和 StallGuard2 操作的上限以及可选的高速步进模式
小滞后	步进频率比较的迟滞分别基于 TSTEP（较低速度阈值）和 (TSTEP x15/16) - 1 (TSTEP x31/ 32) - 1（速度上限）	0	迟滞为 1/16
		1	迟滞为 1/32
超高速文件系统	当超过 VHIGH时，该位允许切换到全步。仅在 45° 位置进行切换。全步目标电流使用微步表中 45° 位置处的电流值。	0	不切换到全步
		1	高速全步
维高查姆	当超过 VHIGH时，该位允许切换到 chm= 1 和 fd= 0。这样，可以获得更高的速度。可以与 vhighfs= 1 组合。如果设置，TOFF设置会在高速运行期间自动加倍，以避免斩波频率加倍。	0	斩波模式不变
		1	经典常量。高速 Toff 斩波器
en_pwm_模式	StealthChop2 电压 PWM 启用标志（取决于速度阈值）。仅在静止状态下从关闭状态切换到开启状态。	0	没有 StealthChop2
		1	StealthChop2 低于 VPWMTHRS

StallGuard2 负载测量

为了适应不同的电机控制方案，TMC2240 提供两种类型的 StallGuard 无传感器负载检测方案，涵盖两种基本斩波模式。StallGuard2 在 SpreadCycle 操作中工作，而 StallGuard4 针对 StealthChop2 操作进行了优化。

StallGuard2 可准确测量电机负载。它可用于失速检测以及低于电机失速负载的其他用途，例如 CoolStep 负载自适应电流降低。StallGuard2 测量值在较宽的负载、速度和电流设置范围内线性变化。随着电机负载的增加，StallGuard 值 (SG_RESULT) 会减小。为了正确检测失速，需要进行调整。设置

StallGuard 阈值 (SGTHRS)，使得当电机过载/失速时 SG_RESULT 达到 0（或接近 0）。

提示: 为了使用 StallGuard2 和 CoolStep，应首先使用 SGT 设置调整 StallGuard2 灵敏度！

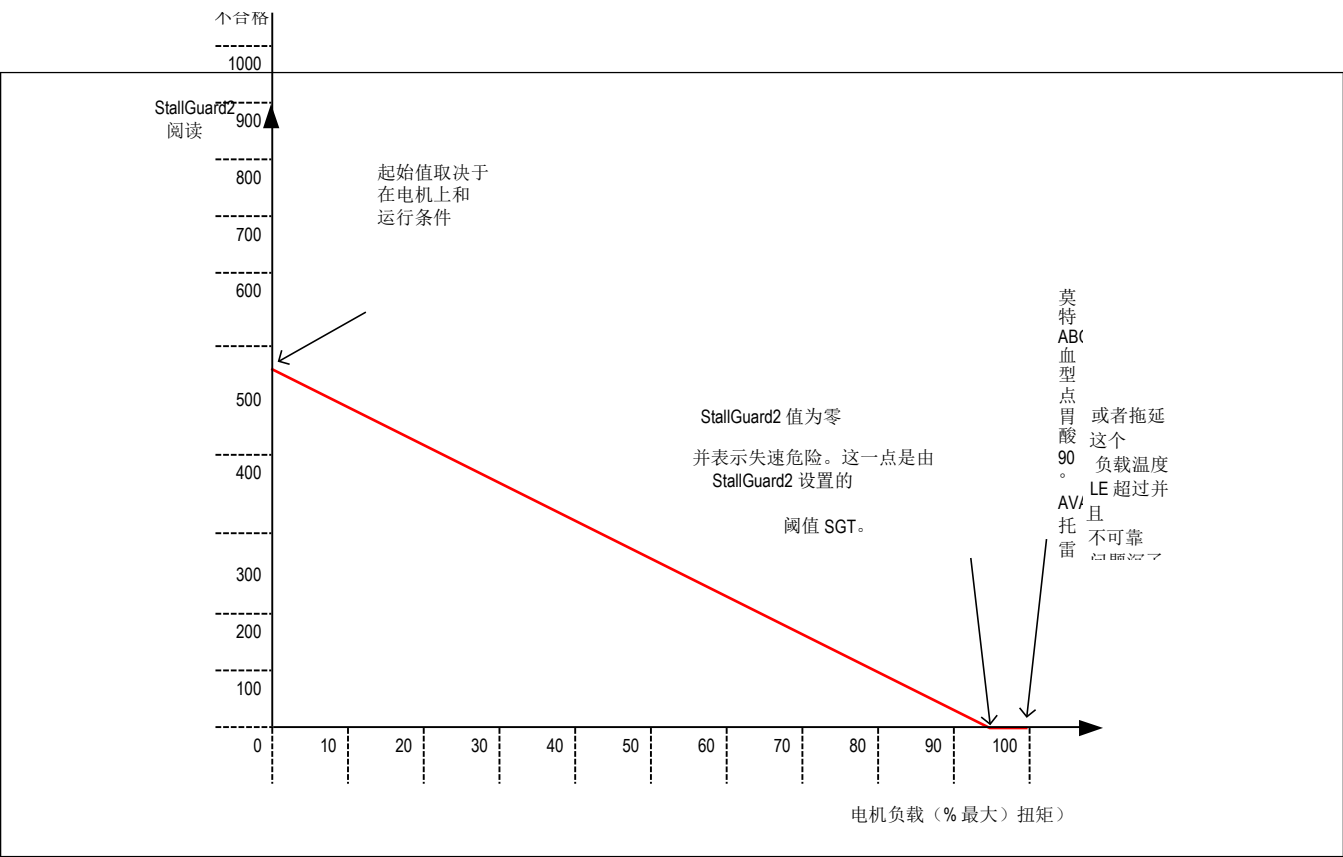


图 21. StallGuard2 功能原理

表 20. StallGuard2 相关参数

范围	描述	环境	评论
新加坡GT	该带符号值控制失速检测的 StallGuard2 阈值水平，并设置读出的最佳测量范围。值越低，灵敏度越高。零是大多数电机工作的起始值。较高的值会使 StallGuard2 的灵敏度降低，并且需要更大的扭矩来指示失速。	0	冷漠的价值
		+1...+63	灵敏度较低
		-1...-64	更高的灵敏度
斯菲尔特	启用 StallGuard2 滤波器以提高测量精度。如果设置，则将测量频率降低为电机每个电气周期一次测量（4 个全步）。	0	标准模式
		1	过滤模式
状态字	描述	范围	评论

表 20.StallGuard2 相关参数（续）

SG_RESULT	这是 StallGuard2 结果。读数越高表示机械负载越小。读数较低表示负载较高，因此负载角较高。调整 SGT 设置，以在电机停转之前在最大负载下显示大约 0 到 100 的 SG_RESULT 读数。	0...1023	0: 最高负载 低值: 高负载 高值: 低负载
-----------	--	----------	-------------------------------

StallGuard2 更新率和过滤器

StallGuard2 测量值SG_RESULT随电机的每个全步更新。这足以安全地检测失速，因为失速总是意味着丢失四个全步。在实际应用中，特别是在使用 CoolStep 时，更精确的测量可能比每个全步的更新更重要，因为机械负载永远不会从一个步骤到下一个步骤立即发生变化。对于这些应用，sfilt位启用对四个负载测量的过滤功能。当需要高精度测量时，应始终启用滤波器。它可以补偿电机结构的变化，例如由于 A 相到 B 相磁体未对准而导致的变化。当需要快速响应不断增加的负载时，以及为了使用 StallGuard 实现无传感器归位的最佳效果时，应禁用滤波器。

检测电机失速

为了获得最佳失速检测效果，请在没有 StallGuard2 过滤的情况下工作 (sfilt= 0)。为了安全地检测电机失速，必须使用特定的SGT设置来确定失速阈值。因此，需要确定电机能够驱动而不失速的最大负载。同时，监视此负载下的SG_RESULT值，例如 0 到范围内的某个值
100.失速阈值应该是安全在操作限制内的值，以允许参数杂散。SGT设置为 0 或接近 0 时的响应给出了有关信号质量的一些信息：检查无负载和最大负载时的SG_RESULT值。它们应该显示出至少 100 或几百的差异，这将在很大程度上与偏移量进行比较。如果以某种方式设置SGT值，使得在最大电机负载时读数为 0，则可以自动检测到失速以发出电机停止信号。在导致失步的那一刻，可以看到最低读数。失步后，电机振动并显示较高的SG_RESULT读数。

使用 StallGuard2 归位

线性驱动器的归位需要将电机移至硬停止方向。由于 StallGuard2 需要一定的速度才能工作（由 TCOOLTHRS 设置），因此请确保起点距离硬停止足够远，以提供加速阶段所需的距离。设置 SGT 后，开始朝硬停止方向运动，并配置diag0_stall或diag1_stall，以使用诊断输出之一向外部控制器指示失速条件。一旦检测到失速，控制器就会停止电机。停止条件也由 DRV_STATUS 中的标志 STALLGUARD 指示。

StallGuard2 操作的限制

StallGuard2 在极端电机速度下无法可靠运行：非常低的电机速度（对于许多电机来说，小于 1Rps）会产生低反电动势，并使测量不稳定并依赖于环境条件（温度等）。前面描述的自动调整过程对此进行了补偿。其他条件也会导致SGT的极端设置以及测量值SG_RESULT对电机负载的不良响应。
非常高的电机速度（其中未将全部正弦电流驱动到电机线圈）也会导致响应不良。这些速度的典型特征是电机反电动势达到电源电压。

StallGuard4 负载测量

StallGuard4 针对与 StealthChop2 的操作进行了优化，而其前身 StallGuard2 可与 SpreadCycle 配合使用。
无论如何，功能是相似的：两者都提供一个负载值，从低负载时的高值到高负载时的低值。
当 StallGuard2 调整为显示“0”读数以进行失速检测时，StallGuard4 使用比较值来触发失速检测，而不是通过应用偏移来移动测量结果。
StallGuard4 可精确测量电机负载，可用于失速检测、负载估计以及 CoolStep 负载自适应电流降低。StallGuard4测量值线性变化

在很宽的负载、速度和电流设置范围内，如下图所示。当接近最大电机负载时，该值会下降到电机特定的较低值。这对应于转子中线圈的磁场和磁体之间的 90° 负载角。这也是电机最节能的运行点。

为了使用 StallGuard4，请检查电机在边界条件下的灵敏度。

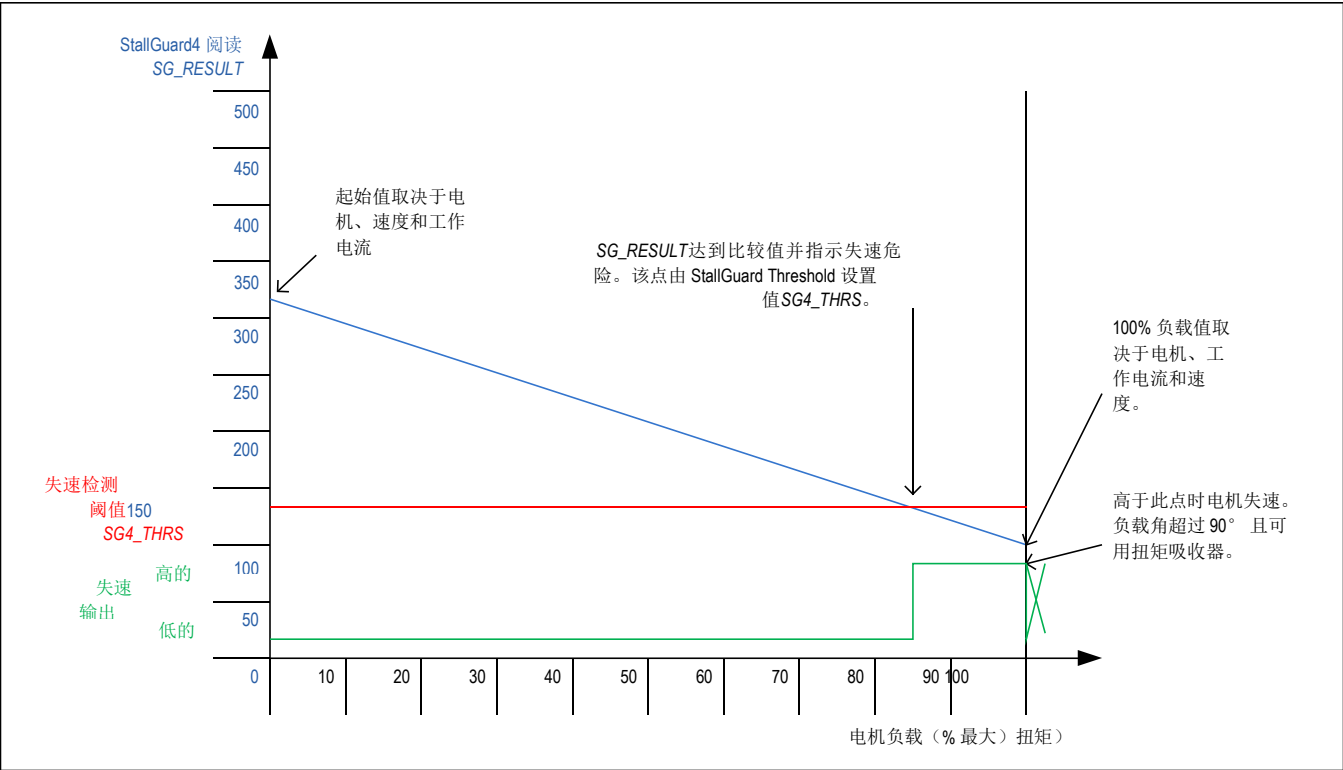


图 22. StallGuard4 操作模式

表 21. StallGuard4 相关参数

范围	描述	环境	评论
SG4_THRS	该值控制失速检测的 StallGuard4 阈值水平。它补偿电机特定的特性并控制灵敏度。值越高，灵敏度越高。值越高，StallGuard4 越灵敏，并且指示失速所需的扭矩越小。	0…255	该值与 SG4_RESULT 进行比较。这如果 SG4_RESULT 低于该值，失速输出将变为活动状态。
状态字	描述	范围	评论
SG4_RESULT	这是 StallGuard4 结果。读数越高表示机械负载越小。读数较低表示负载较高，因此负载角较高。该值的生成与启用条件（如实际斩波器模式）和速度阈值（如 VCOOLTHRS）无关。结果根据 SG4_IND_x 测量值计算得出，添加一位以获得更高的精度和与 StallGuard2 类似的范围。	0…510	低值：最高负载 高值：低/空载

表 21.StallGuard4 相关参数（续）

SG4_IND_3 SG4_IND_2 SG4_IND_1 SG4_IND_0	电机 A 相下降 (SG4_IND_0)/上升 (SG4_IND_1) 转换的单独测量。B 相下降 (SG4_IND_2)/上升 (SG4_IND_3) 转换。单独测量仅在过滤模式下可用 (sg4_filt_en= 1)。SG4_IND_0涵盖未过滤模式下的所有情况 (sg4_filt_en= 0)	0....255	低值：最高负载 高值：低/空载
sg4_filt_cn	0: 未过滤操作，SG4_RESULT 每一步都会更新 1: 过滤操作，SG4_IND_0...3可用，SG4_RESULT给出最后四个SG4_IND_x 测量值的平均值	0 1	0: 过滤关闭 1: 过滤操作，SG4_IND值可用
sg_角度_偏移	该标志可通过使用SG4_RESULT确定 StealthChop2 中的相位滞后并补偿 SpreadCycle 中从电压控制操作切换到电流控制操作时的相位跳变，实现 StealthChop2 和 SpreadCycle 之间的优化切换。当切换回 StealthChop2 时，相位偏移将被存储并再次被减去。	0 1	0: 无角度校正 1: 优化 StealthChop2 和 SpreadCycle 之间的切换

调整 StallGuard4

StallGuard4 值SG4_RESULT受电机特定特性以及负载、线圈电流和速度的特定应用要求的影响。因此，针对特定电机类型和操作条件调整 StallGuard4 阈值SG4_THRS的最简单方法是在实际应用中交进行交互式调整。

调整 StallGuardSG4_THRS的初始过程如下：

1. 以适合您的应用的正常运行速度运行电机并监控SG4_RESULT。
2. 对电机施加缓慢增加的机械负载。在电机堵转之前检查SG4_RESULT的最低值。使用该值作为SG4_THRS的起始值（应用该值的一半）。
3. 现在，通过 DIAG 输出监控 StallGuard 输出信号（还设置TCOOLTHRS以匹配运行速度下限），并在相应输出上看到脉冲时停止电机。确保电机在堵转 时安全停止。如果电机在失速发生之前停止，则增加SG4_THRS。
4. 当安全检测到失速并在发生失速时在 DIAG 处产生脉冲时，即可达到最佳设置。SG4_THRS在大多数情况下可以针对特定运动速度或速度范围进行调整。确保该设置在一定范围内（例如，所需速度的 80% 至 120%）以及极端电机条件（最低和最高适用温度）下可靠工作。

当SG4_RESULT低于SG4_THRS时，DIAG由 StallGuard 发出脉冲。仅在 StealthChop2 模式下且当TCOOLTHRS ≥ TSTEP>TPWMTHRS 时启用。

如果需要，外部运动控制器应通过停止电机来对单个脉冲做出反应。设置TCOOLTHRS以匹配较低的速度阈值，此时 StallGuard 可提供良好的结果。

SG4_RESULT测量具有高分辨率，并且有几种方法可以提高其精度，如以下各节所述。

StallGuard4 更新率

StallGuard4 测量值SG4_RESULT随电机的每个全步更新。这足以安全地检测失速，因为失速总是意味着丢失四个全步。

StallGuard4 提供两种测量选项：

1. sg4_filt_en= 0: 单个测量，在每个全步后更新，并且对每个全步有效。该测量可以对负载变化做出最快的反应，因为 SG4_RESULT会随着线圈电压的每次零传输而完全更新。因此，它最适合硬障碍物的失速检测。
2. sg4_filt_en= 1: 在此模式下，会生成四个单独的信号：SG4_IND_0余弦波（线圈 A）下降 0 转变时；SG4_IND_1余弦波上升 0 跃迁时；SG4_IND_2正弦波下降 0 转变时（线圈 B）；SG4_IND_3正弦波上升 0 跃迁时。SG4_RESULT的实际值是所有四个测量值的平均值，每个全步更新一次。这样，每个全步对总体结果的影响仅为 25%。此模式非常适合检测软障碍物，或在不精确的情况下使用 CoolStep

电机。在滤波模式下，对负载突然增加（电机硬堵塞）的敏感度会降低。

检测电机失速

为了安全地检测电机失速，必须使用特定的SG4_THRS设置和特定的电机速度或速度范围来确定失速阈值。此外，电机电流设置有一定的影响，一旦确定了最佳值就不应修改。因此，需要确定电机在给定应用中可以驱动而不会失速的最大负载。同时，在此负载下监视SG4_RESULT。失速阈值应该是安全在操作限制内的值，以允许参数杂散。更精细的评估也可能对SG4_RESULT的变化做出反应，而不是与固定阈值进行比较。这排除了影响绝对值的某些影响。

StallGuard4 操作的限制

StallGuard4 在极端电机速度下无法可靠运行：非常低的电机速度（对于许多电机来说，小于 1Rps）会产生低反电动势，并使测量不稳定并依赖于环境条件（温度等）。其他条件也会导致测量值SG4_RESULT对电机负载的响应较差。非常高的电机速度（其中未将全部正弦电流驱动到电机线圈）也会导致响应不良。这些速度的典型特征是电机反电动势超过电源电压。

CoolStep 负载自适应电流调节

CoolStep 是一种基于电机机械负载的步进电机自动智能能源优化技术，使其变得“绿色”。根据实际斩波模式，CoolStep 自动在 StealthChop2 中使用 StallGuard4 负载测量结果，或在 SpreadCycle 中使用 StallGuard2。Coolstep 要求在使用前对 StallGuard2 或 StallGuard4（取决于所使用的斩波器模式）进行调整。一次调整并不能涵盖所有工作点。

设置 CoolStep

CoolStep 由多个参数控制，但有两个参数对于理解其工作原理至关重要：

表 22.CoolStep 关键参数

范围	描述	范围	评论
塞米恩	设置下阈值的 4 位无符号整数。如果SG_RESULT低于此阈值（表明负载较大），CoolStep 会增加两个线圈的电流。4 位SEMIN值按 32 缩放，以覆盖 10 位SG_RESULT值范围的下半部分。（此参数的名称源自 smartEnergy，它是 CoolStep 的早期名称。）	0	禁用 CoolStep
		1...15	阈值是 SEMIN x32
塞玛克斯	控制上限阈值的 4 位无符号整数。如果SG_RESULT被采样到等于或高于此阈值足够多次（表明轻负载），CoolStep 会降低两个线圈的电流。阈值上限为 (SEMIN+SEMAX+ 1) x 32。	0...15	阈值为 (SEMIN+S EMAX+ 1) x 32

下图显示了 CoolStep 的运行区域：

- 黑线代表SG_RESULT测量值。
- 蓝线代表施加到电机上的机械负载。
- 红线代表进入电机线圈的电流。

当负载增加时，SG_RESULT降至SEMINx 32 以下，并且 CoolStep 会增加电流。当负载减小时，SG_RESULT上升到 (SEMIN+SEMAX+ 1) x 32 以上，并且电流减小。

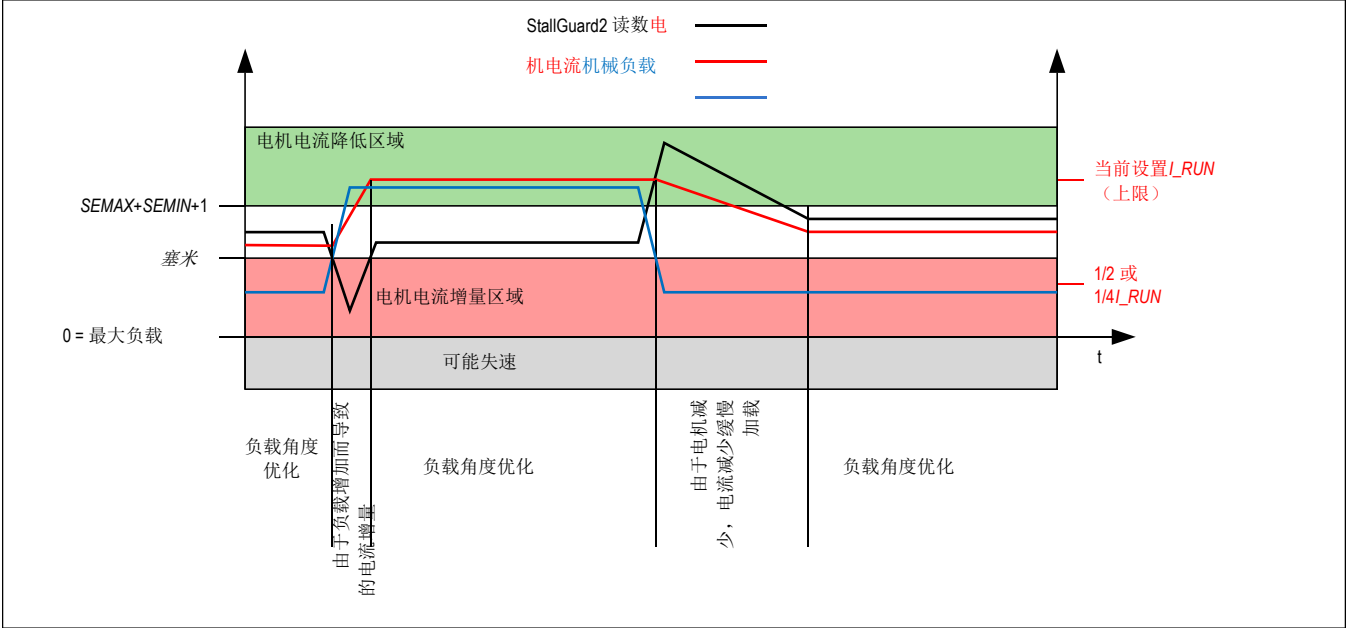


图 23.CoolStep 使电机电流适应负载

表 23.CoolStep 附加参数和状态信息

范围	描述	范围	评论
SEUP	设置当前增量步长。每当测量到低于SEMIN设置的下阈值的新 StallGuard2 或 StallGuard4 值时，电机电流就会通过此设置增加。	0...3	CS值CS_ACTUAL的步长为 1, 2, 4, 8
SEDN	将 StallGuard2 / StallGuard4 读数的数量设置为高于电机电流的每个电流递减所需的上限阈值。	0...3	每个减量的 StallGuard2 测量数: 32, 8, 2, 1
世民	通过调整 CoolStep 操作的电机电流下限 IRUN 当前设置。 使用 StealthChop2 时，请确保在远高于 StealthChop2 电流调节所确定的最小电机电流的情况下运行，特别是当需要降低至 25% 时。	0	0: IRUN 的 1/2
		1	1: IRUN 的 1/4
酷思	开启 CoolStep 的速度阈值较低。低于此速度 CoolStep 将被禁用。适应 StallGuard2 给出稳定结果的速度范围下限。 暗示：通过将 VCOOLTHRS 设置为与 VMAX 相同，可以在加速和减速阶段禁用 CoolStep。	1...220-1	通过将阈值与 TSTEP 进行比较来指定较低的 CoolStep 速度
大腿	CoolStep 的速度上限阈值。高于此速度 CoolStep 变得残疾。适应 StallGuard2/ 的速度范围 StallGuard4 给出了稳定的结果。	1...220-1	还控制附加功能如切换到全步。
状态字	描述	范围	评论
CS_实际	该状态值提供由 CoolStep 控制的实际电机电流标度。该值上升到 IRUN 值，下降到 IRUN 的部分，如 SEMIN 指定。	0...31	1/32、2/32、.....32/32

调整 CoolStep

在与 SpreadCycle 结合调整 CoolStep 之前，首先调整 StallGuard2 阈值水平 *SGT*，这会影响负载测量值 *SG_RESULT* 的范围。CoolStep 使用 *SG_RESULT* 在最佳负载角 $+90^\circ$ 附近运行电机。与 StealthChop2 结合使用，CoolStep 使用 *SG4_RESULT*。在此模式下，通过 *SEMIN* 完成调平。

当前增量速度在 *SEUP* 中指定，当前减量速度在 *SEDN* 中指定。它们可以单独调整，因为它们是由可能需要不同响应的不同事件触发的。这些参数的编码允许线圈电流增加的速度比减少的速度快得多，因为越过下限阈值是更严重的事件，可能需要更快的响应。如果响应太慢，电机可能会停转。相比之下，对超过上限的缓慢响应不会带来比错失节拍电机更严重的风险。

CoolStep 在由当前标度参数 *IRUN* 和 *seimin* 位控制的限值之间运行。

响应时间

为了快速响应不断增加的电机负载，请使用高电流增量步骤 *SEUP*。如果电机负载变化缓慢，可以使用较低的电流增量步骤来避免电机振荡。如果启用由 *sfilt* 控制的滤波器，则测量速率和调节速度将降低四倍。

建议：最常见和最有益的用途是使 CoolStep 适应典型系统目标运行速度，并相应地设置速度阈值。由于加速和减速通常很快，因此需要满电机电流，但由于持续时间短，对整体功耗的贡献很小。

低速和待机操作

由于 CoolStep 无法测量静止状态和极低 RPM 下的电机负载，因此驱动器中提供了较低的速度阈值。应将其设置为特定于应用程序的默认值。低于此阈值时，分别通过 *IRUNIHOLD* 进行的正常电流设置有效。上限阈值由 *VHIGH* 设置提供。速度限制 *VHIGH* 和 *VCOOLTHRS* 由设置 *THIGH* 和 *TCOOLTHRS* 确定。

这两个阈值都可以通过 StallGuard2 和 StallGuard4 调整过程进行设置。

诊断输出

使用外部运动控制器进行操作通常需要对步进电机驱动器的某些状态做出快速反应。因此，DIAG 输出提供一组可配置的不同实时信息，作为 STEP/DIR 接口的补充。

DIAG0 和 DIAG1 上的可用信息以及输出类型（低电平有效开漏

– 默认设置，或高有效推挽）。为了确定驱动器的复位，DIAG0 始终通过在复位条件期间拉低来显示上电复位条件。下图显示了可用的信号和控制位。

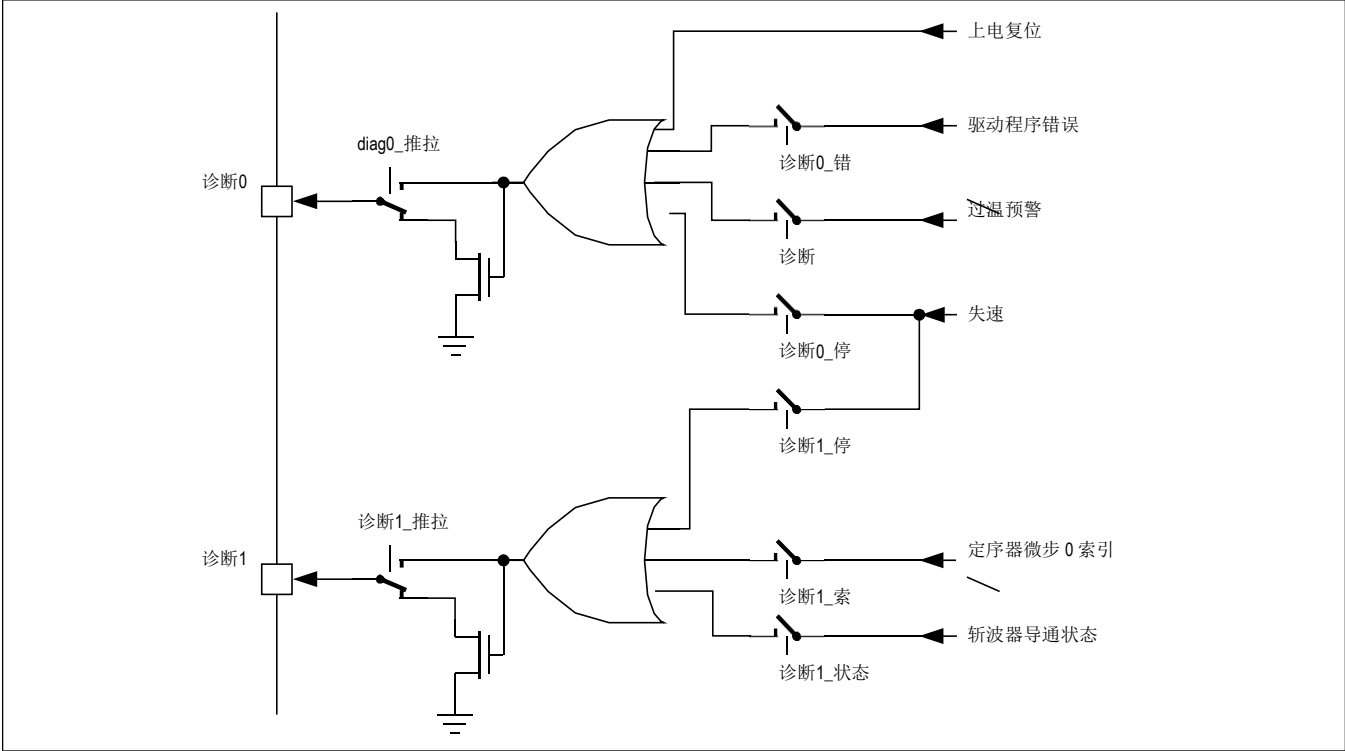


图 24. DIAG0 和 DIAG1 输出选项

失速输出信号允许外部运动控制器像停止开关一样处理 StallGuard。

根据斩波器模式，每当 StallGuard 值 SG_RESULT 达到零时，分别当 $SG4_RESULT$ 低于 $SG4_THRS$ 时，并且同时速度条件已满足 ($TSTEP \leq TCOOLTHRS$)。

斩波器开启状态显示在 SpreadCycle 或恒定关闭时间下工作时两个线圈斩波器（交替）的开启状态，以确定占空比。

INDEX 输出向微步计数器零位置发出信号，以允许应用程序将驱动器参考某个电流模式。索引脉冲的持续时间对应于微步的持续时间。当在不使用插值且小于 256 微步的情况下工作时，索引时间会减少到两个时钟周期。索引输出表示线圈 B 微步波的正零转变。

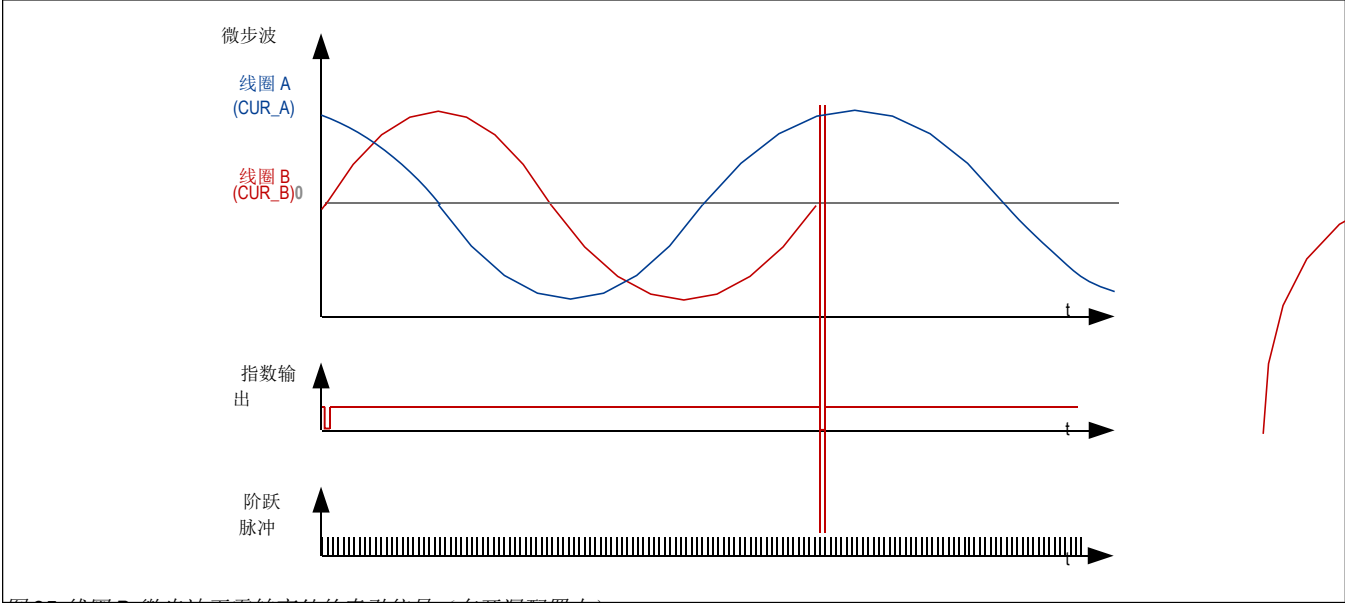


图 25.线圈 B 微步波正零转变处的索引信号（在开漏配置中）

正弦波查找表

TMC2240 提供一个可编程查找表来存储微步电流波。默认情况下，该表使用正弦波进行预编程，这对于大多数步进电机来说是一个很好的起点。将工作台重新编程为电机特定波形可以显著改善微步进，尤其是对于低成本电机。用户的好处是：

- 微步进——通过低成本电机得到极大改善
- 电机 - 运行平稳、安静
- 扭矩——减少机械共振，提高扭矩
- 低频电机噪音 - 通过根据实际电机的制造公差调整正弦和余弦波偏移来降低

微步表

为了最大限度地减少所需的内存和要编程的数据量，仅存储四分之一的波形。内部微步表映射从 0° 到 90° 的微步波。它变得对称延伸至 360° 。读出该表时，10 位微步计数器 *MSCNT* 对完全扩展的波表进行寻址。该表以增量方式存储，每个条目使用一位。因此，仅需要 256 位（*ofs00* 至 *ofs255*）来存储四分之一波。这些位被映射到八个 32 位寄存器。位中的每个控制在表中前进一步时添加倾斜度 *Wx* 或 *Wx+1*。当 *Wx* 为 0 时，表中实际微步位置处的 1 位表示前进到下一个微步时“加 1”。由于波的倾角可以高于 1，因此可以使用四分之一波内最多四个灵活的可编程段将基本倾角 *Wx* 编程为 -1、0、1 或 2。这样，即使是消极的倾向也可以实现。四个倾斜段由位置寄存器 *X1* 至 *X3* 控制。倾斜段 0 从微步位置 0 到 *X1-1*，其基本倾斜度由 *W0* 控制，段 1 从 *X1* 到 *X2-1* 其底倾角由 *W1* 等控制。

修改波形时，必须注意确保四分之一波形扩展为全波形时平滑且对称的零过渡。波的最大摆幅应调整到 -248 到 248 的范围内，以便提供最佳分辨率，同时为基于磁滞的斩波器留出余量以添加偏移。

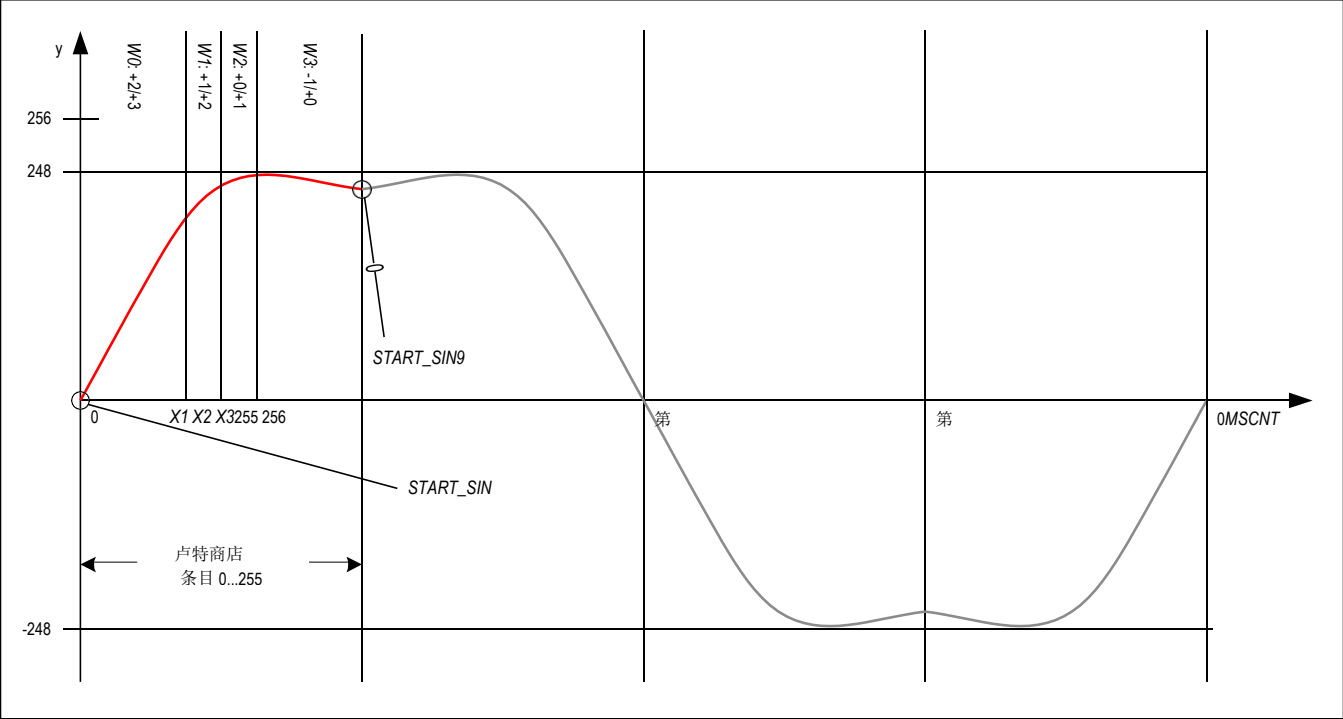


图 26.LUT 编程示例

当微步序列发生器在表中前进时，它会计算每个微步的电机线圈的实际电流值，并将它们存储到寄存器`CUR_A`和`CUR_B`中。然而，增量编码需要绝对初始化，尤其是当微步表被修改时。因此，只要`MSCNT`过零，`CUR_A`和`CUR_B`就会被初始化。

将相移与电机相匹配：

两个寄存器控制表的起始值。

- 由于零处的起始值不一定是 0（可能是 1 或 2），因此可以将其编程到起始点寄存器`START_SIN`中。
- 同样，第二个电机线圈的第二个波的开始位置需要存储在`START_SIN90`中。该寄存器存储两相电机 90° 相移的结果表条目。为了适应电机容差，可以通过添加 -127 至 +127 范围内的微步偏移（寄存器`OFFSET_SIN90`）。运动耐受性需要适度的适应，最多为几个步骤，最多十个步骤。可以使用 `StallGuard4` 单独值`SG4_IND`找出所需的校正偏移，并微调偏移，直到两个线圈给出对称结果。

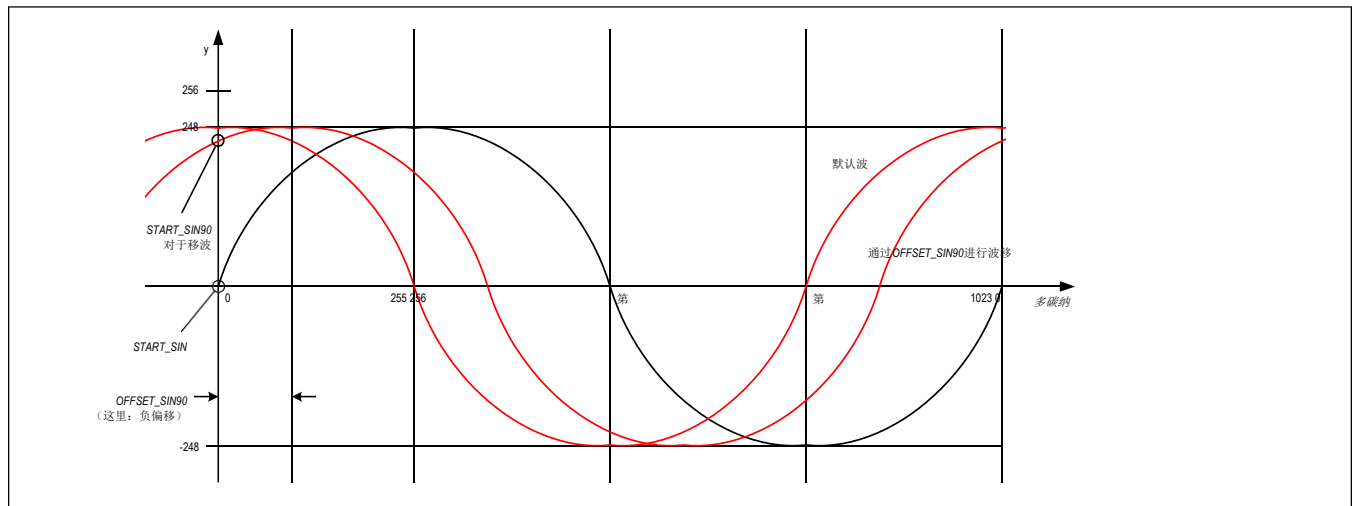


图 27. 通过 OFFSET_SIN90 移动余弦波

默认表是实现自己的表的良好基础。这是重置默认微步表的初始化示例：

```
MSLUT[0]= %1010101010101010101010101010100 =
0xAAAAB554MSLUT[1]= %01001010100101010101010010101010 =
0x4A9554AA [t g5]
MSLUT[2]= %00100100010010010010100100101001 =
0x24492929MSLUT[3]= %00010000000100000100001000100010 =
0x10104222MSLUT[4]= %11111011111111111111111111111111 =
0xFBFFFFFFMSLUT[5]= %1011010110111011011101110111011101 =
0xB5BB777DMSLUT[6]= %01001001001010010101010101010110 =
0x49295556
```

```
MSLUT[7]= %00000000010000000100001000100010 = 0x00404222
```

```
MSLUTSEL= 0xFFFF8056:
```

```
X1= 128, X2= 255, X3= 255
```

```
W3= %01, W2= %01, W1= %01, W0= %10
```

```
MSLUTSTART= 0x00F70000:
```

```
START_SIN_0= 0, START_SIN90= 247
```

要优化电机相移，请在 StealthChop2 中以中等速度运行电机并设置 `sg4_filt_en= 1`。调整相位偏移以匹配 A 相 (`SG4_IND_0+SG4_IND_1`) 与 B 相 (`SG4_IND_2+SG4_IND_3`) 的 StallGuard4 结果。

如果 A 相值 > B 相值，则递增 `OFFSET_SIN90`，否则递减。重复直到找到最佳匹配。请务必为 `START_SIN90` 输入正确的值。对于 -10 到 +9 的偏移量，请使用 `START_SIN90 = 247`；高达 -17 或 +17 使用 `START_SIN90 = 246`。 `START_SIN` 始终为 0。

ABN 增量编码器接口

TMC2240 配备了用于 ABN 编码器的增量编码器接口。编码器通过数字增量正交信号（通常称为 A 和 B）和索引信号（通常称为 N 表示空、Z 表示零或 I 表示索引）给出位置。

N 信号

N 信号可用于清除位置计数器或拍摄快照。要连续监视 N 通道并触发编码器位置的清除或位置的锁存（已检测到 N 通道事件），请设置标志 `clr_cont`。或者，可以仅对下一个编码器 N 通道事件做出反应，并在第一个 N 信号事件（标志 `clr_once`）之后自动禁用编码器位置的清除或锁存。这可能是所希望的，因为编码器每转一圈都会发出一次该信号。

检查编码器锁存事件

- 选项1：检查 `ENC_LATCH` 是否发生变化。它从 0 开始，并显示第一次开始运动后发生 N 事件的编码器计数。对于连续旋转，它显示增加/减少的值，因此总是变化。
- 选项2：检查中断输出是否活动，并仅在活动中断输出后读取标志。需要使用 `GCONF` 寄存器中的位 `diag0_nint_step` 将 `DIAG0` 引脚配置为中断线。

某些编码器需要通过 A 和 B 极性的特定配置来验证 N 信号。这可以通过 `ENCMODE` 寄存器中的 `pol_A` 和 `pol_B` 标志来控制。例如，当 `pol_A` 和 `pol_B` 均被设置时，仅在 A 和 B 通道均为高极性期间才接受有效 N 事件。

要在下一个活动 N 事件设置 `clr_enc_x` = 1 且 `clr_once` = 1 或 `clr_cont` 时清除编码器位置 `ENC_POS` = 1。

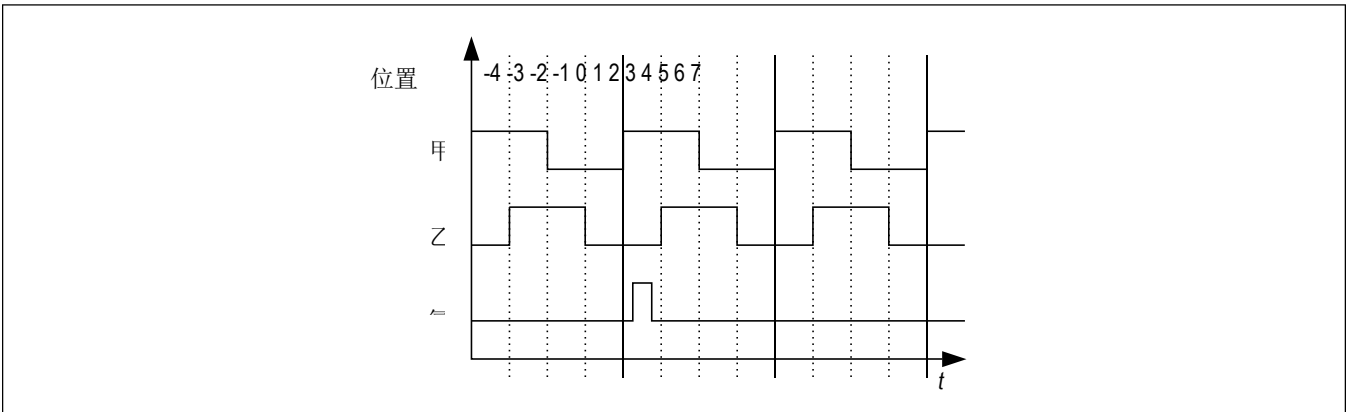


图 28. 增量编码器的 ABN 信号概述

编码器计数器 `X_ENC`

编码器计数器 `X_ENC` 保存当前编码器位置以供读出。涉及信号 A、B 和 N 处理的不同模式会考虑不同类型编码器的低电平有效和高电平有效信号。

寄存器 `ENC_STATUS`

寄存器 `ENC_STATUS` 保存有关 N 通道信号上的编码器清除事件的状态。寄存器 `ENC_LATCH` 始终存储 N 信号事件上的实际编码器位置。

编码器常数 `ENC_CONST`

增量编码器正交信号 AB 的每次极性变化时，编码器常数（或编码器系数）`ENC_CONST` 会添加到编码器计数器或从编码器计数器中减去。编码器常量 `ENC_CONST` 表示带符号的定点数 (16.16)，以方便电机和编码器之间的通用适配。在十进制模式下，低 16 位代表 0 到 9999 之间的数字。对于配备增量编码器的步进电机，固定数字表示允许非常舒适的参数化。此外，还可以轻松考虑机械传动装置。对 `ENC_CONST` 的符号取反允许反转计数方向以匹配电机和编码器方向。

例子：

- 编码器系数 1.0: $ENC_CONST = 0x0001.0x0000 = \text{因子.分数}$
- 编码器系数 -1.0: $ENC_CONST = 0xFFFF.0x0000$ 。这是 $0x00010000$ 的二进制补码。等于 $(216 - (\text{因子} + 1)) \times (216 - \text{分数})$
- 十进制模式编码器系数 25.6: $00025.6000 = 0x0019.0x1770 = \text{FACTOR.DECIMALS}$ (DECIMALS = 分数的前 4 位数字)
- 十进制模式编码器系数-25.6: $(216 - (25 + 1)) \times (10000 - 6000) = (216 - 26) \times (4000) = 0xFFE6.0x0FA0$ 。
- 使用以下公式计算负编码器常数: $(216 - (\text{因子} + 1)) \times (10000 - \text{小数})$

设置编码器以匹配电机分辨率

编码器电机参数设置示例:

1. USC = 256 微步
2. FSC = 200 全步电机
3. 系数 = FSC x USC/编码器分辨率

表 24.具有 256 微步的 200 全步电机的编码器示例设置

编码器分辨率	所需的编码器系数	评论
200	256	
360	142.2222 = $9320675.5555/216$ = $1422222.2222/10000$	不可能完全匹配!
500	102.4 = $6710886.4/216$ = $1024000/10000$	与小数设置精确匹配
1000	51.2	与小数设置精确匹配
1024	50	
4000	12.8	与小数设置精确匹配
4096	12.5	
16384	3.125	

例子:

编码器常量寄存器应以十进制模式编程为 51.2。因此, 设置 $ENC_CONST = 51 \times 216 + 0.2 \times 10000$

重置、禁用/停止和断电

紧急停止

该驱动器提供有效使能引脚 DRV_ENN 以安全地关断所有功率 MOSFET。这允许电机自由转动。此外, 每当需要不与软件耦合的紧急停止时, 它都是一种安全的硬件功能。某些应用可能需要将驱动器置于主动保持电流或被动制动模式的状态。这可以通过将引脚 ENCA 编程为步进禁用功能来实现。设置 GCONF 标志 *stop_enable* 以激活此选项。每当 ENCA 被拉高并且只要保持高电平, 电机就会突然停止并进入断电状态, 如通过 IHOLD、IHOLD_DELAY、和 StealthChop2 停止选项配置 (在情况下 StealthChop2 正在使用)。

外部复位和睡眠模式

复位和睡眠模式由 SLEEPN 引脚控制。

SLEEPN 上持续时间 >30 μs 的短脉冲会导致芯片复位 (在诊断输出中也可见)。<30 μs 的极短脉冲被滤除, 不会对操作产生影响。

如果 SLEEPN 保持在 GND, 则 IC 进入低功耗待机状态 (睡眠模式)。所有内部电源均已关闭。

在复位和待机这两种情况下，所有内部寄存器值和配置都被清除并设置为其默认值，并且电源桥关闭。

上电或离开睡眠模式和复位条件后，需要重新配置寄存器。重新配置 IC 时，建议仍然使用 DRV_ENN 禁用桥驱动器。请勿在电机高速运转时使用，电机反馈的能量可能会损坏芯片！如果不使用，请连接到 VS或 VCC_IO（这是一个高压引脚）。

重新启动步进电机而不丢失位置

自锁驱动器可以完全关闭电机而不会丢失位置。机械摩擦和步进电机齿槽扭矩可能会导致锁定。大多数步进电机的齿槽扭矩在其标称扭矩的百分之几范围内，这也将有助于电机锁定在某个位置。由于其结构，大多数电机锁定在全步位置。全步位置的特征是两个线圈在相同的绝对电流下产生的位置。通过 n 次微步进，每 n 步即可达到全步位置。当驱动器上电后恰好完成 n/2 步时，即达到第一个全步位置。内置的

当到达全步位置时，微步计数器显示 128、384、640 或 896。

只要转子位置和电气位置相差最多，电机将在上电后进入相同的步骤 +2 全步，假设没有外力将电机拉向某个方向。最大一整步的偏移是最安全的。

当驱动器上电时，所有寄存器都会重置为零。这也会影响内部位置计数器。因此，上电后位置计数器将从 0 重新开始。当使能引脚固定为“1”时，电机电流会将电机拉至该（半步）位置。有了这个，有几个选项可以跟踪电机位置结果：

表 25.位置恢复方法

启用 PIN DRV_ENN	断电前的操作	上电时的动作
固定（至 GND）	通过计算初始通电后的步数来跟踪电机位置。在断电之前，移动到可以除以 4 x 微步分辨率。在这些位置，MSCNT 为 0。存储位置。	MSCNT 自动清零。开始根据需要移动电机。
由CPU控制	读出 MSCNT 并存储它（与绝对电机位置一起）。	在启用电机驱动器之前，应用多个步骤将 MSCNT 恢复为存储的值。 步进脉冲数 = 位置模数（4 x 微步分辨率） 示例：在 32 微步设置下，每个步进脉冲使 MSCNT 增加 256/32 = 8。计算位置模 128 以产生所需的步数。在 DIR = 0 的情况下应用 10 个步骤会将 MSCNT 增加到值 80。

保护和驱动程序诊断

TMC2240 驱动器提供一整套诊断和保护功能，例如接地短路保护和欠压检测。开路负载条件的检测允许测试电机线圈连接是否中断。有关详细信息，请参阅DRV_STATUS寄存器表。

除了状态标志之外，TMC2240 还允许测量和读取芯片温度以及电机相绕组温度的反馈。

为了提高系统可靠性和整体电路保护，TMC2240 包含一个过压比较器和一个触发输出 OV，用于在电源电压过度增加时控制外部开关。

过流保护

过流保护 (OCP) 可保护器件免受电源轨（电源电压和接地）以及输出（OUT1A、OUT2A、OUT1B、OUT2B）之间的短路。

OCP 阈值取决于所选的满量程电流范围，或者请参阅电气特性表以了解相应的阈值。

满量程范围通过 DRV_CONF 寄存器中的 CURRENT_RANGE 参数进行选择。

如果输出电流大于 OCP 阈值且持续时间长于抗尖峰脉冲时间（消隐时间），则检测到 OCP 事件。

当检测到 OCP 事件时，H 桥立即被禁用。

短路保护在故障标志之前尝试 3 次（s2ga、s2gb、s2vsa、s2vsbin DRV_STATUS 寄存器）被设置并且桥持续被禁用。

该设备仍处于活动状态，并允许配置和读取状态。要重新启用电源桥，

必须循环 DRV_ENN 引脚。

另一种选择是通过 CHOPCONF 中的 TOFF = 0 禁用电源桥，并通过 TOFF > 0 重新启用桥。

热保护和关断

TMC2240 具有内部热保护。

如果芯片温度超过 165° C（典型值），则会引发故障指示故障标志（DRV_STATUS 中的 ot），并且驱动器处于三态，直到结温下降低于约 145° C（典型值）。之后，驱动程序将重新启用。

此外，TMC2240 支持基于 ADC 的可配置热预警级别。这可以使用参数 OVERTEMPPREWARNING_VTH 在寄存器 OTW_OV_VTH 中进行配置。ADC 感测芯片平均温度，而驱动器级可能处于更高的温度。这只是为了指定 TMC2240 可以进入热关断状态，即使设置在低温下，也可能不会发出预警。

热量主要由电机驱动级产生，并且在电压升高时由内部电压调节器产生。启用接地短路保护时，可以避免驱动器 MOSFET 可能过热的最严重情况。对于许多应用，过热预警指示异常操作情况，并可用于启动用户警告或功率降低措施，例如降低电机电流。热关断只是一种紧急措施，设计时应防止温度上升至关断水平。

温度测量

TMC2240 提供测量内部芯片温度和电机温度的功能。

这些诊断功能有助于监控芯片或 PCB 温度以及电机温度随时间的变化，以提高系统稳健性或收集额外信息以进行预测性维护。

芯片温度测量

除了过热预警和过热标志之外，还可以使用 ADC_TEMP 寄存器中的 ADC_TEMP 参数确定芯片温度本身。

最终温度（摄氏度）可以使用以下公式计算：ADC_温度 = 7.7 × 温度 + 2038

$$\text{温度 [° C]} = \frac{\text{ADC_TEMP} - 2038}{7.7}$$

电机温度测量

PWM_SCALE 寄存器显示 StealthChop2 操作中的实际占空比。对于给定的电机电流，占空比

取决于电机的相电阻。

由于相电阻与温度相关，*PWM_SCALE*可用于估计实际电机温度并监控电机温度随时间的变化。

优选地在电机静止或缓慢运动期间进行该测量。通常，电机温度不会快速变化。

过压保护和 OV 引脚

步进电机应用可能会产生显著的过压，特别是当电机从高速快速减速或电机停转时。

该电压由驱动器输出级反馈至电源轨。

对于典型的 NEMA17 或较大的电机，以及具有足够飞轮质量的较小电机，反馈的能量可能很大，因此电力电容器和电路消耗不足以将电源保持在其限制范围内。

为了保护驱动器以及连接的电路，TMC2240 具有过压检测和保护机制。

OV 输出允许连接带有功率电阻器（制动电阻器）的 NPN 或 MOSFET，以将多余的能量转储到电阻器中。

晶体管以大约 3kHz 至 4kHz（取决于时钟频率）进行斩波，以将电源保持在限制范围内。

电源电压由内部 ADC 持续监控。

给定应用的电源电压上限可以使用参数OVERVOLTAGE_VTH 在寄存器OTW_OV_VTH中配置。

电源电压的实际 ADC 值可以通过寄存器ADC_VSUPPLY_AIN作为参数读取

ADC_VSUPPLY。

使用以下公式将 ADC 值转换为 VS，反之亦然：

$$VS = ADC_VSUPPLY \times 9.732\text{mV}$$

OV 输出引脚显示过压监视器的实际状态。

只要ADC_VSUPPLY变得大于或等于OVERVOLTAGE_VTH，OV 输出引脚就会变为三态/“Z”。

OV 输出引脚是开漏引脚。下图显示了制动斩波器电路示例。

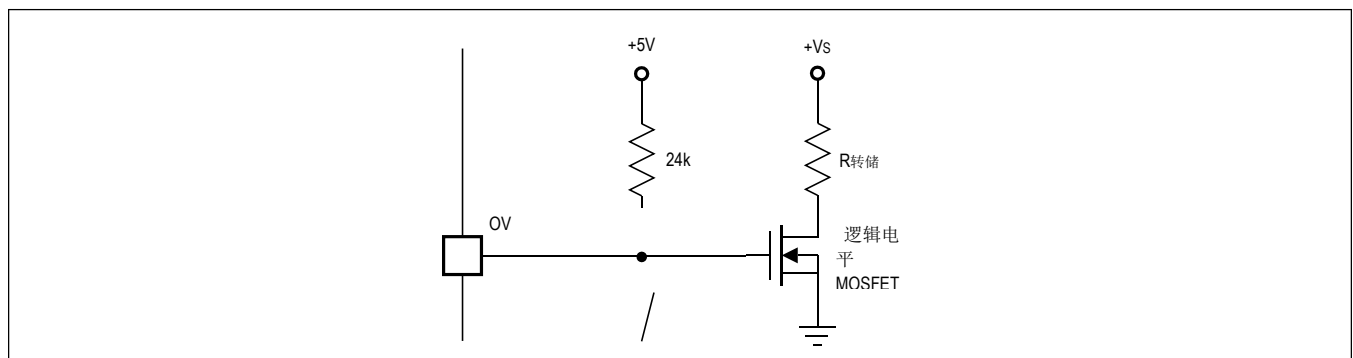


图 29. 制动斩波器电路示例

短路保护（对 GND 短路和对 VS 短路）

通过额外的电流测量来保护 TMC2240 功率级免受短路情况的影响

流经高侧 MOSFET。这很重要，因为大多数短路情况都是由电机电缆绝缘缺陷引起的，例如，当接触连接到系统接地的导电部件时。通过在关闭电机之前重试 3 次，可以防止短路检测受到误触发（例如，通过 ESD 放电）。

一旦安全检测到短路情况，相应的驱动器桥就会关闭，并且s2ga或s2gb标志被设置。为了重新启动电机，用户必须通过禁用并重新启用驱动器进行干预。应该注意的是，接地短路保护无法针对所有可能的短路事件保护系统和功率级，因为短路事件相当不确定，并且可能涉及复杂的外部组件网络。因此，基本上应该避免短路。

根据满量程电流设置，低侧短路保护会在不同的过流保护阈值下触发。

表 26.基于满量程电流设置的过流保护阈值

满量程电流设置（位）	过流保护阈值 [A]
10（和11）	5.0
01	3.33
00	1.67

开路负载诊断

电缆中断是系统故障的常见原因，例如连接器未牢固插入时。TMC2240 通过检查是否可以达到所需的电机线圈电流来检测开路负载条件。这样，欠压条件、高电机速度设置或短路和过热条件也可能导致触发开路负载标志。在电机静止时，无法测量开路负载，因为线圈最终可能具有零电流。

为了安全地检测中断的线圈连接，请在 SpreadCycle 中运行，并仅使用低或标称电机速度运行，以至少四倍于所选微步分辨率（= 4 个全步）的运动进入单个方向，检查开路负载标志。然而，ola和olb标志仅具有信息性特征，不会引起驱动程序的任何操作。

欠压锁定保护

TMC2240 具有针对 VM、VCC_IO和电荷泵的 UVLO 保护。VM上的 UVLO 条件在低于 4.15V（最大值）时触发。

VCC_IO上的 UVLO 条件在低于 1.95V（最大值）时触发。

如果电荷泵出现错误状况（例如，由于错误的电容器值），则会触发电荷泵上的 UVLO 状况。

VMUVLO 条件可以从寄存器GSTAT中读取，作为标志vm_uvlo。该标志是写清除标志。必须主动将其设置为 1 才能将其清除。根据配置的引脚设置，UVLO 条件也会显示在 DIAG0 引脚上。

在 VCC_IUVLO 期间，无法与 IC 进行通信。DIAG0 引脚将处于低电平有效（漏极开路）。

静电放电保护

该芯片的每个引脚都有内部 ESD 保护。

当在正电压电源（VS引脚）上使用至少 1uF 的旁路电容器时，TMC2240 电机相位输出引脚在应用中受到高达 8kV HBM 的保护。

这不是防止电机热插拔的保护措施。

外部模拟输入 AIN 监控

TMC2240 提供外部模拟输入 AIN，通过内部 ADC 对其进行连续采样。ADC 采样值可以从寄存器 ADC_VSUPPLY_AIN 中的参数 ADC_AIN 中读出。

使用以下公式将 ADC 值转换为 VAIN，反之亦然：

$$VAIN = ADC_AIN \times 305.2\mu V$$

AIN 输入可用于监控可能代表系统级条件的外部模拟变量和参数，并提供有关系统状态的附加反馈。

时钟振荡器和时钟输入

使用内部时钟

如果要使用内部时钟振荡器，请直接将 CLK 输入引脚连接到 IC 附近的 GND。内部时钟的运行频率典型为 12.5MHz。

使用外部时钟

当外部时钟可用时，建议使用 8MHz 至 20MHz 的频率以获得最佳性能。时钟信号所需的最小和最大占空比在[电气特性](#)中定义。特别是在时钟频率接近20MHz时，需要满足时钟的占空比要求。

使用高时钟频率时，请确保时钟源提供干净的 CMOS 输出逻辑电平和陡峭的斜率。

一旦 CLK 引脚提供外部时钟，外部时钟输入就会启用。

读出寄存器IOIN中的位ext_clk可以反馈当前使用的时钟源（1 = 外部时钟）。

如果外部时钟出现故障或关闭，内部时钟将无缝自动接管，以保护驱动器免受损坏。

快速配置指南

本指南旨在作为一种实用工具，用于进行第一个寄存器配置，并进行一组最小的测量和决策来调整驱动器。它并不涵盖所有高级功能和选项，而是专注于使电机平稳运行的基本功能集。电机运行后，您可以决定更详细地探索附加功能和更多功能。一个电机线圈上的电流探头可以很好地帮助您找到最佳设置。

当前设置

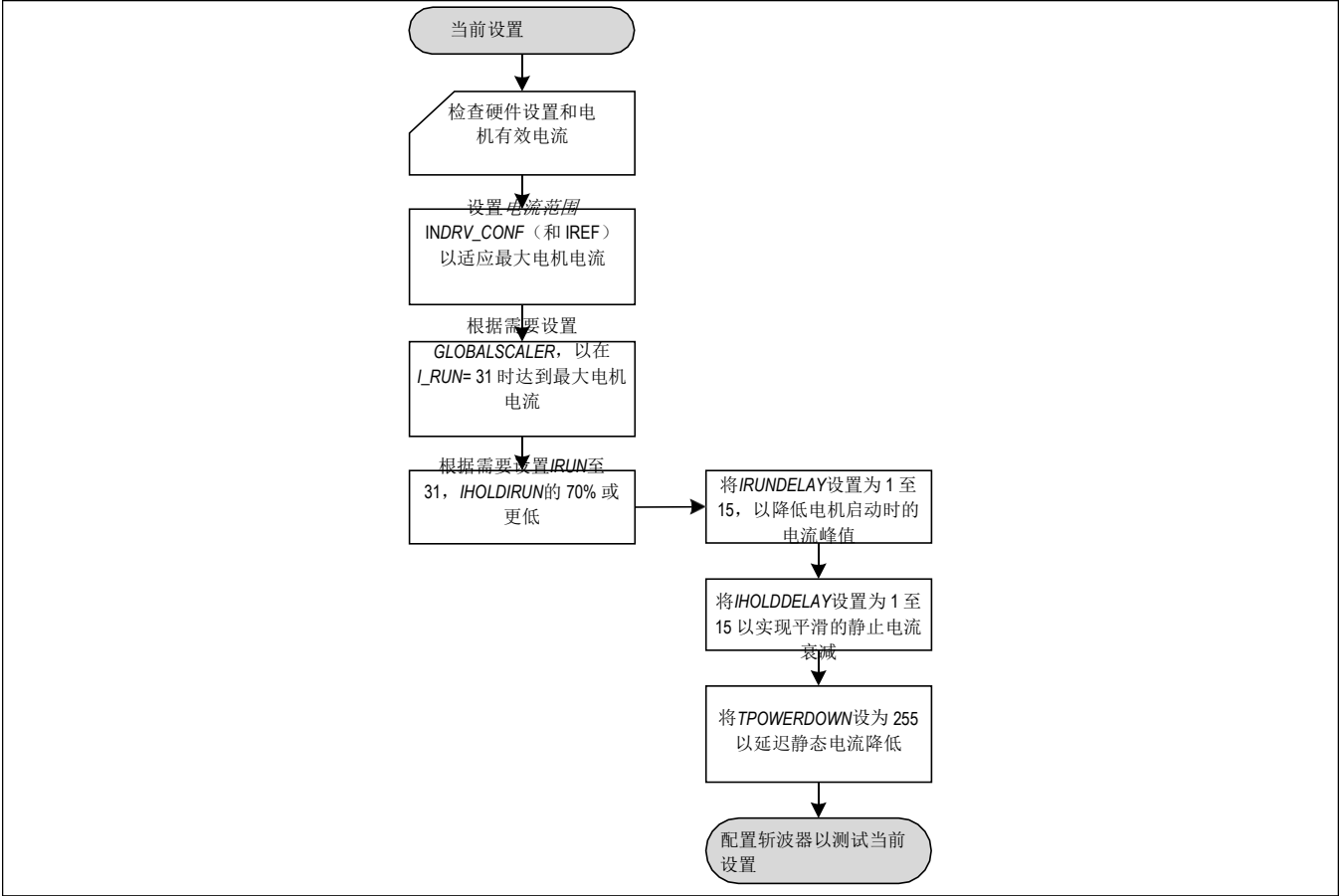


图 30. 当前设置快速配置指南

StealthChop2 配置

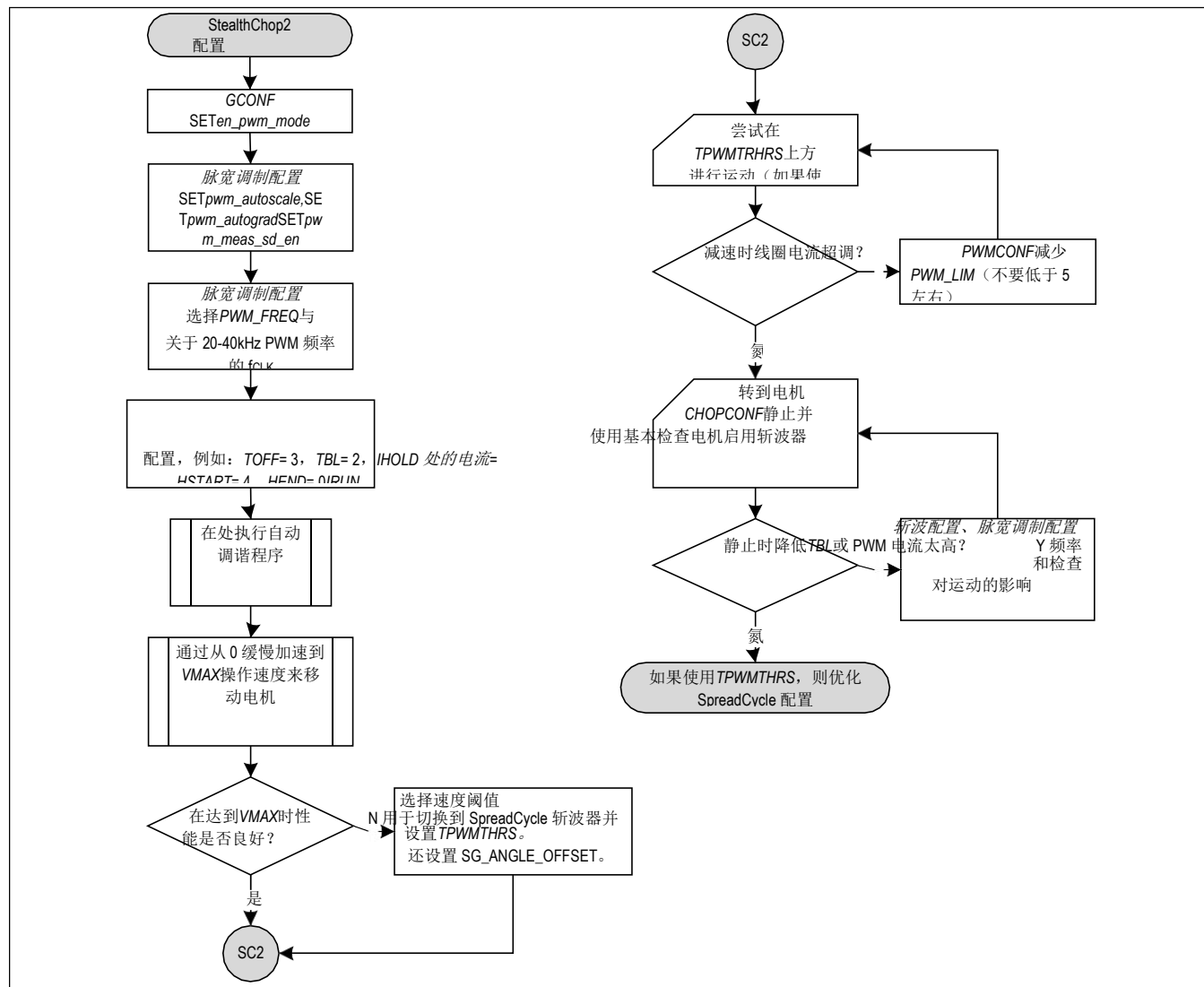


图 31. StealthChop2 配置快速配置指南

SpreadCycle 配置

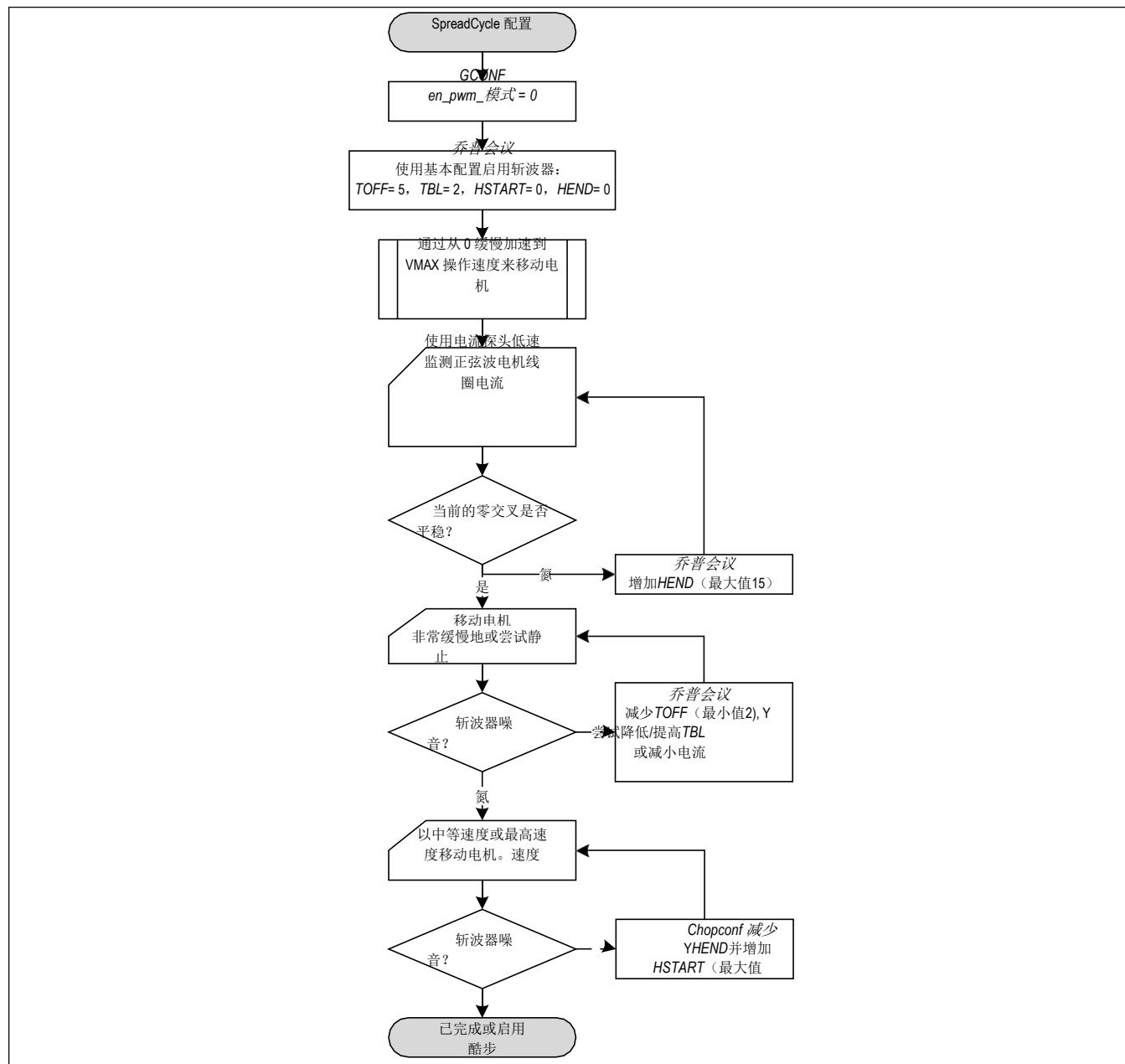


图 32. SpreadCycle 快速配置指南

与 StealthChop2 结合使用 CoolStep

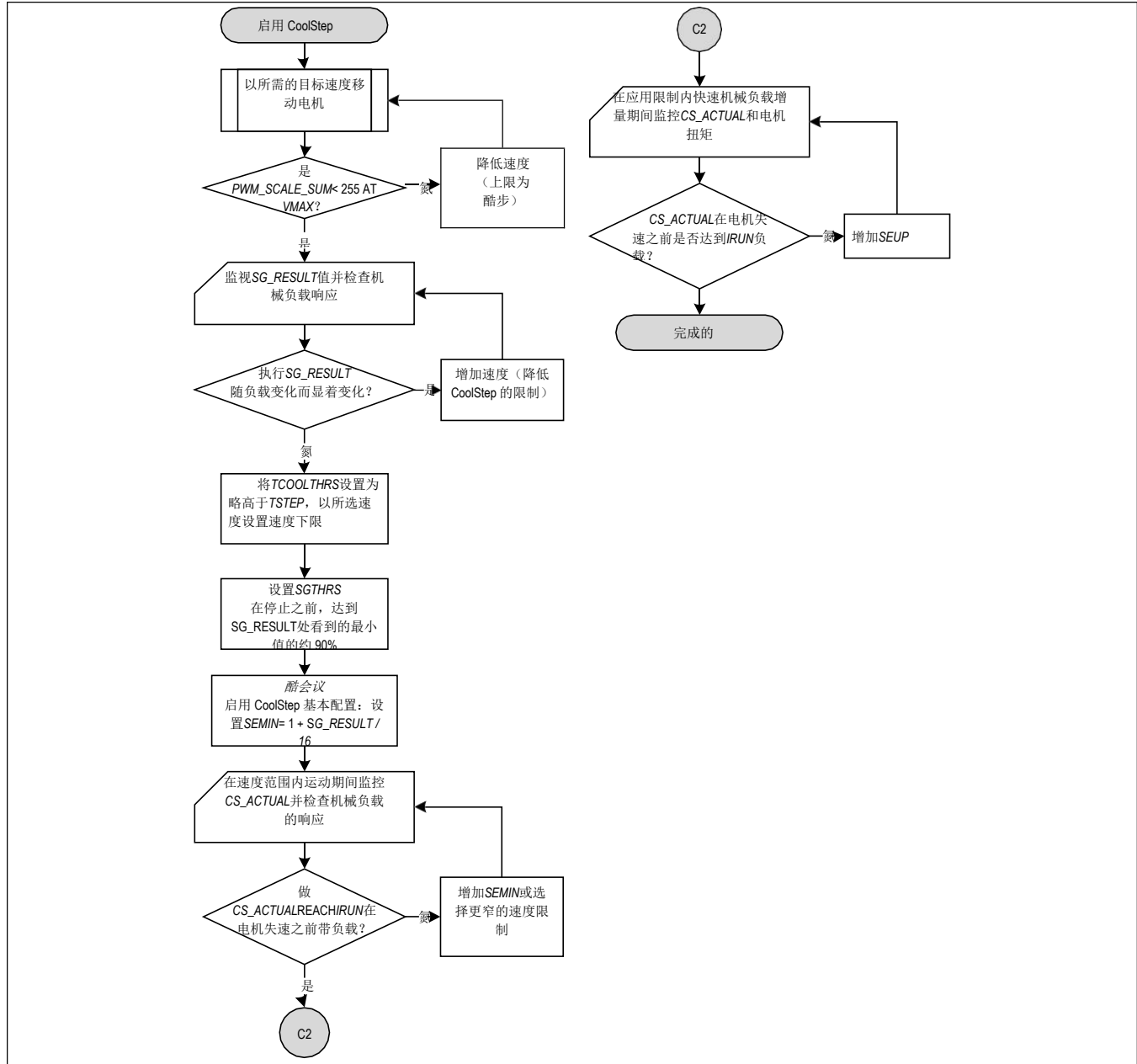


图 33. 使用 StealthChop2 的 CoolStep 快速配置指南

与 SpreadCycle 结合使用 CoolStep

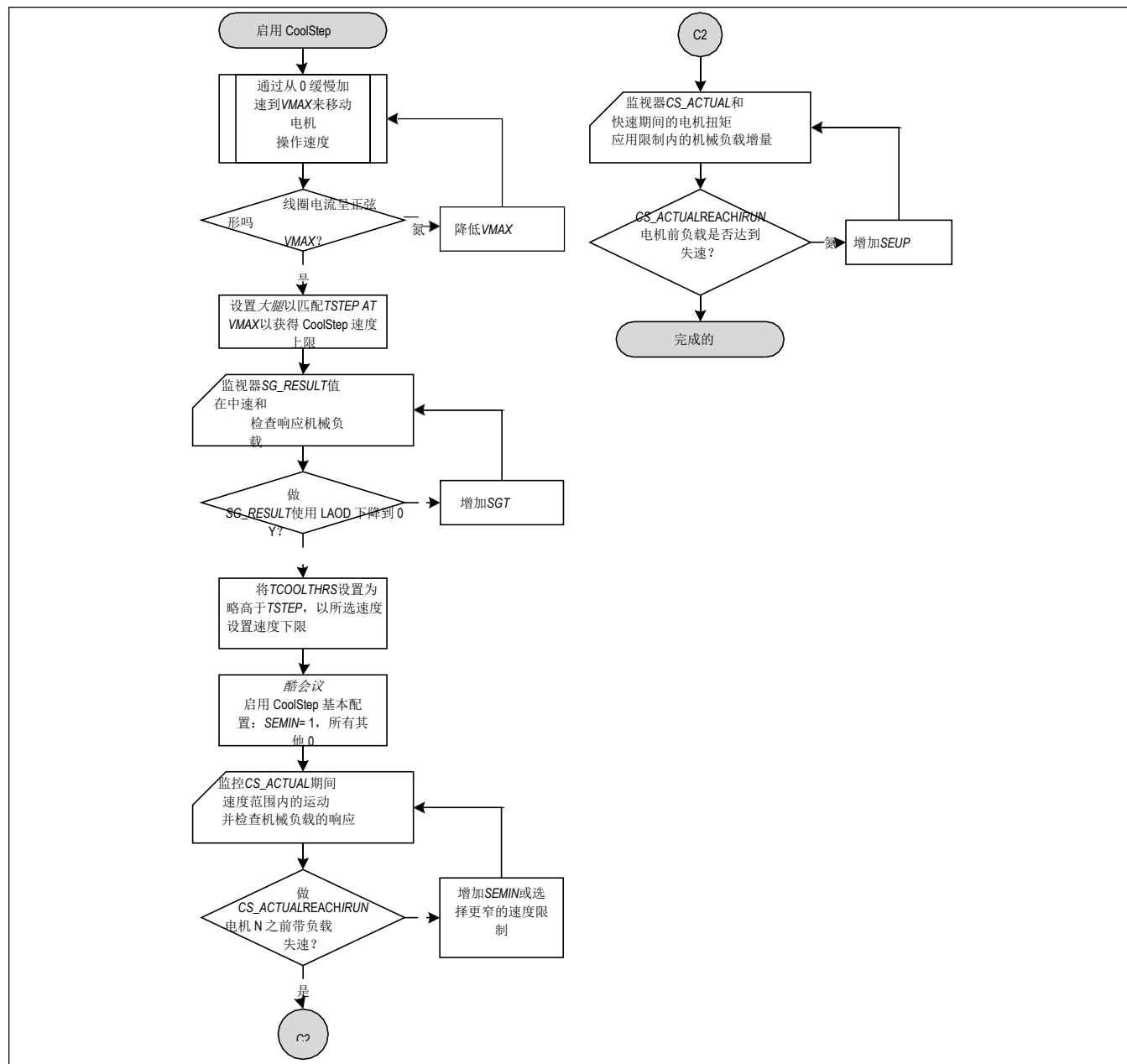


图 34. CoolStep 与 SpreadCycle 快速配置指南

通用寄存器映射和寄存器信息

本节提供有关寄存器映射的一些一般信息。

有关所有寄存器及其内容的详细信息在寄存器映射部分中给出。

- 除非另有说明，所有寄存器在上电时都会重置为 0。

- 将 0x80 添加到地址 Addr 以进行写访问！

表 27.寄存器映射概述

登记	描述
通用配置寄存器	这些寄存器包含 ● 全局配置 ● 全局状态标志 ● 接口配置 ● 和I/O信号配置
速度相关驱动器功能控制寄存器组	该寄存器组提供寄存器 ● 驱动器电流控制 ● 设置 CoolStep 操作的阈值 ● 设置不同斩波模式的阈值
直接模式寄存器	该寄存器组提供用于直接线圈电流控制模式的寄存器。
编码器寄存器组	编码器寄存器组提供正确 ABN 编码器操作所需的所有寄存器。
ADC 寄存器	该寄存器组提供用于控制和读取内部 ADC 的寄存器。
电机驱动器寄存器组	该寄存器组提供寄存器 ● 设置/读出微步表和计数器 ● 斩波器和驱动器配置 ● CoolStep 和 StallGuard 配置 ● 读出 StallGuard 值和驱动程序错误标志

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

注册地图

TMC2240

地址	姓名	最高位							最低有效位
通用配置寄存器									
0x00	GCONF[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	GCONF[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	直接模式
	GCONF[15:8]	停止启用	小磁滞	diag1_pu 拉动	diag0_pu 拉动	-	diag1_on 状态	diag1_ 索引	diag1_st 全部
	GCONF[7:0]	diag0_st 全部	diag0_ot 密码	diag0_er 错误	轴	多重步骤 _过滤	en_pwm _模式	fast_stan 蒸馏器	-
0x01	GSTAT[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	GSTAT[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	GSTAT[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	GSTAT[7:0]	-	-	-	vm_uvlo	寄存器_重置	紫外线CP	驱动错误	重置
0x02	IFCNT[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	IFCNT[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	IFCNT[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	IFCNT[7:0]	IFCNT[7:0]							
0x03	NODECONF[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	NODECONF[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	NODECONF[15:8]	-	-	-	-	发送延迟[3:0]			
	节点配置[7:0]	节点地址[7:0]							
0x04	IOIN[31:24]	版本[7:0]							
	IOIN[23:16]	-	-	-	-	-	硅_RV[2:0]		
	IOIN[15:8]	ADC_ER R	外部时钟	EXT_RE S_DET	输出	COMP_ B1_B2	COMP_ A1_A2	补偿_B	补偿_A
	IOIN[7:0]	预订的	UART_E N	ENCN	DRV_EN N	恩卡	欧洲国家 CB	目录	步
	0x0A	DRV_CONF[31:24]	-	-	-	-	-	-	-
DRV_CONF[23:16]		-	-	-	-	-	-	-	-
DRV_CONF[15:8]		-	-	-	-	-	-	-	-
DRV_CONF[7:0]		-	-	坡度控制[1:0]		-	-	当前_范围[1:0]	
0x0B	全局缩放器[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	全局缩放器[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	全局定标器[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	全局定标器[7:0]	全球缩放器[7:0]							
速度相关配置寄存器									
0x10	IHOLD_IRUN[31:24]	-	-	-	-	伊伦延迟[3:0]			
	IHOLD_IRUN[23:16]	-	-	-	-	IHOLDDELAY[3:0]			

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

地址	姓名	最高位							最低有效位
	IHOLD_IRUN[15:8]	-	-	-	伊润[4:0]				
	IHOLD_IRUN[7:0]	-	-	-	我持有[4:0]				
0x11	TPOWERDOWN[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TPOWERDOWN[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TPOWERDOWN[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TPOWERDOWN[7:0]	断电[7:0]							
0x12	TSTEP[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TSTEP[23:16]	-	-	-	-	TSTEP[19:16]			
	TSTEP[15:8]	TSTEP[15:8]							
	TSTEP[7:0]	TSTEP[7:0]							
0x13	TPWMTHRS[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TPWMTHRS[23:16]	-	-	-	-	TPWMTHRS[19:16]			
	TPWMTHRS[15:8]	TPWMTHRS[15:8]							
	TPWMTHRS[7:0]	TPWMTHRS[7:0]							
0x14	TCOOLTHRS[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	TCOOLTHRS[23:16]	-	-	-	-	酷三[19:16]			
	TCOOLTHRS[15:8]	酷三[15:8]							
	TCOOLTHRS[7:0]	TCOOLTHRS[7:0]							
0x15	大腿[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	大腿[23:16]	-	-	-	-	大腿[19:16]			
	大腿[15:8]	大腿[15:8]							
	大腿[7:0]	大腿[7:0]							
直接模式寄存器									
0x2D	DIRECT_MODE[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	直接的线圈_B [8]
	DIRECT_MODE[23:16]	DIRECT_COIL_B[7:0]							
	DIRECT_MODE[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	直接的线圈_A [8]
	DIRECT_MODE[7:0]	DIRECT_COIL_A[7:0]							
编码器寄存器									
0x38	ENCMODE[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	ENCMODE[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	ENCMODE[15:8]	-	-	-	-	-	enc_sel_十进制	-	clr_enc_x
	ENCMODE[7:0]	pos_neg_edge[1:0]		clr_once	clr_cont	忽略_A B	pol_N	波尔_B	聚合酶A
0x39	X_ENC[31:24]	X_ENC[31:24]							
	X_ENC[23:16]	X_ENC[23:16]							
	X_ENC[15:8]	X_ENC[15:8]							
	X_ENC[7:0]	X_ENC[7:0]							
0x3A	ENC_CONST[31:24]	ENC_CONST[31:24]							
	ENC_CONST[23:16]	ENC_CONST[23:16]							

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

地址	姓名	最高位							最低有效位
	ENC_CONST[15:8]	ENC_CONST[15:8]							
	ENC_CONST[7:0]	ENC_CONST[7:0]							
0x3B	ENC_STATUS[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	ENC_STATUS[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	ENC_STATUS[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	ENC_STATUS[7:0]	-	-	-	-	-	-	-	n_事件
0x3C	ENC_LATCH[31:24]	ENC_LATCH[31:24]							
	ENC_LATCH[23:16]	ENC_LATCH[23:16]							
	ENC_LATCH[15:8]	ENC_LATCH[15:8]							
	ENC_LATCH[7:0]	ENC_LATCH[7:0]							
ADC 寄存器									
0x50	ADC_VSUPPLY_AIN[31:24]	-	-	-	ADC_AIN[12:8]				
	ADC_VSUPPLY_AIN[23:16]	ADC_AIN[7:0]							
	ADC_VSUPPLY_AIN[15:8]	-	-	-	ADC_VSUPPLY[12:8]				
	ADC_VSUPPLY_AIN[7:0]	ADC_VSUPPLY[7:0]							
0x51	ADC_TEMP[31:24]	-	-	-	保留[12:8]				
	ADC_TEMP[23:16]	保留[7:0]							
	ADC_TEMP[15:8]	-	-	-	ADC_TEMP[12:8]				
	ADC_TEMP[7:0]	ADC_TEMP[7:0]							
0x52	OTW_OV_VTH[31:24]	-	-	-	OVERTEMPPREWARNING_VTH[12:8]				
	OTW_OV_VTH[23:16]	OVERTEMPPREWARNING_VTH[7:0]							
	OTW_OV_VTH[15:8]	-	-	-	OVERVOLTAGE_VTH[12:8]				
	OTW_OV_VTH[7:0]	OVERVOLTAGE_VTH[7:0]							
电机驱动器寄存器									
0x60	MSLUT_0[31:24]	MSLUT_0[31:24]							
	MSLUT_0[23:16]	MSLUT_0[23:16]							
	MSLUT_0[15:8]	MSLUT_0[15:8]							
	MSLUT_0[7:0]	MSLUT_0[7:0]							
0x61	MSLUT_1[31:24]	MSLUT_1[31:24]							
	MSLUT_1[23:16]	MSLUT_1[23:16]							
	MSLUT_1[15:8]	MSLUT_1[15:8]							
	MSLUT_1[7:0]	MSLUT_1[7:0]							
0x62	MSLUT_2[31:24]	MSLUT_2[31:24]							
	MSLUT_2[23:16]	MSLUT_2[23:16]							
	MSLUT_2[15:8]	MSLUT_2[15:8]							
	MSLUT_2[7:0]	MSLUT_2[7:0]							
0x63	MSLUT_3[31:24]	MSLUT_3[31:24]							
	MSLUT_3[23:16]	MSLUT_3[23:16]							
	MSLUT_3[15:8]	MSLUT_3[15:8]							
	MSLUT_3[7:0]	MSLUT_3[7:0]							

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

地址	姓名	最高位							最低有效位
0x64	MSLUT_4[31:24]	MSLUT_4[31:24]							
	MSLUT_4[23:16]	MSLUT_4[23:16]							
	MSLUT_4[15:8]	MSLUT_4[15:8]							
	MSLUT_4[7:0]	MSLUT_4[7:0]							
0x65	MSLUT_5[31:24]	MSLUT_5[31:24]							
	MSLUT_5[23:16]	MSLUT_5[23:16]							
	MSLUT_5[15:8]	MSLUT_5[15:8]							
	MSLUT_5[7:0]	MSLUT_5[7:0]							
0x66	MSLUT_6[31:24]	MSLUT_6[31:24]							
	MSLUT_6[23:16]	MSLUT_6[23:16]							
	MSLUT_6[15:8]	MSLUT_6[15:8]							
	MSLUT_6[7:0]	MSLUT_6[7:0]							
0x67	MSLUT_7[31:24]	MSLUT_7[31:24]							
	MSLUT_7[23:16]	MSLUT_7[23:16]							
	MSLUT_7[15:8]	MSLUT_7[15:8]							
	MSLUT_7[7:0]	MSLUT_7[7:0]							
0x68	MSLUTSEL[31:24]	X3[7:0]							
	MSLUTSEL[23:16]	X2[7:0]							
	MSLUTSEL[15:8]	X1[7:0]							
	MSLUTSEL[7:0]	W3[1:0]	W2[1:0]		W1[1:0]		W0[1:0]		
0x69	MSLUTSTART[31:24]	OFFSET_SIN90[7:0]							
	MSLUTSTART[23:16]	START_SIN90[7:0]							
	MSLUTSTART[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	MSLUTSTART[7:0]	START_SIN[7:0]							
0x6A	MSCNT[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	MSCNT[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	MSCNT[15:8]	-	-	-	-	-	-	MSCNT[9:8]	
	MSCNT[7:0]	MSCNT[7:0]							
0x6B	MSCURACT[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	CUR_A[8]
	MSCURACT[23:16]	CUR_A[7:0]							
	MSCURACT[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	CUR_B[8]
	MSCURACT[7:0]	CUR_B[7:0]							
0x6C	CHOPCONF[31:24]	diss2vs	diss2g	边缘	国际刑警组织	多分辨率RES[3:0]			
	CHOPCONF[23:16]	TPFD[3:0]				维高奇米	超高速文件系统	-	待定[1]
	CHOPCONF[15:8]	待定[0]	chm	-	迪夫迪克	FD3	HEND_OFFSET[3:1]		
	CHOPCONF[7:0]	HEND_OFFSET[0]	HSTRT_TFD210[2:0]			关闭时间[3:0]			
0x6D	COOLCONF[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	斯菲尔
	COOLCONF[23:16]	-	军士[6:0]						

TMC2240	36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
COOLCONF[13:0]	18868876685@139.com 清氏 sedn[1:0] - 语义[3:0] RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

TMC2240

36V 2A非官方翻译，专业名词有出入，请与原文对照，文章专业名词请与
18868876685@139.com联系

RMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

地址	姓名	最高位							最低有效位
	COOLCONF[7:0]	-	设置[1:0]		-	塞明[3:0]			
0x6F	DRV_STATUS[31:24]	STST	奥尔布	奥拉	s2gb	s2ga	奥普瓦	奥特	摊贩d
	DRV_STATUS[23:16]	-	-	-	CS_ACTUAL[4:0]				
	DRV_STATUS[15:8]	活跃的	隐身	s2vsb	s2vsa	-	-	SG_RESULT[9:8]	
	DRV_STATUS[7:0]	SG_RESULT[7:0]							
0x70	PWMCONF[31:24]	脉宽调制 LIM[3:0]				脉宽调制寄存器[3:0]			
	PWMCONF[23:16]	脉宽调制_dis_reg_stst	pwm_meas_sd_e 启用	飞轮[1:0]		pwm_aut 奥格勒	pwm_aut oscale	脉宽调制频率[1:0]	
	PWMCONF[15:8]	PWM_GRAD[7:0]							
	PWMCONF[7:0]	脉宽调制_OFS[7:0]							
0x71	PWM_SCALE[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	PWM_SCALE_AUTO[8]
	PWM_SCALE[23:16]	PWM_SCALE_AUTO[7:0]							
	PWM_SCALE[15:8]	-	-	-	-	-	-	PWM_SCALE_SUM[9:8]	
	PWM_SCALE[7:0]	PWM_SCALE_SUM[7:0]							
0x72	PWM_AUTO[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	PWM_AUTO[23:16]	PWM_GRAD_AUTO[7:0]							
	PWM_AUTO[15:8]	-	-	-	-	-	-	-	-
	PWM_AUTO[7:0]	PWM_OFS_AUTO[7:0]							
0x74	SG4_THRS[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	SG4_THRS[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	SG4_THRS[15:8]	-	-	-	-	-	-	sg_角度_抵消	sg4_filt_zh
	SG4_THRS[7:0]	SG4_THRS[7:0]							
0x75	SG4_RESULT[31:24]	-	-	-	-	-	-	-	-
	SG4_RESULT[23:16]	-	-	-	-	-	-	-	-
	SG4_RESULT[15:8]	-	-	-	-	-	-	SG4_RESULT[9:8]	
	SG4_RESULT[7:0]	SG4_RESULT[7:0]							
0x76	SG4_IND[31:24]	SG4_IND_3[7:0]							
	SG4_IND[23:16]	SG4_IND_2[7:0]							
	SG4_IND[15:8]	SG4_IND_1[7:0]							
	SG4_IND[7:0]	SG4_IND_0[7:0]							

注册详情

[GCONF \(0x0\)](#)

全局配置标志

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	直接模式
重置	-	-	-	-	-	-	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	读写
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	停止启用	小磁滞电阻	diag1_推拉	diag0_推拉	-	诊断1_状态	诊断1_索引	诊断1_停止
重置	0x0	0x0	0x0	0x0	-	0x0	0x0	0x0
接入类型	读写	读写	读写	读写	-	读写	读写	读写
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	诊断0_停止	诊断0_otpw	诊断0_错误	轴	多步过滤	en_pwm_模式	快速站立状态	-
重置	0x0	0x0	0x0	0x0	0x1	0x0	0x0	-
接入类型	读写	读写	读写	读写	读写	读写	读写	-

位域	比特币	描述	解码
直接模式	16	通过串行接口启用直接电机相电流控制。	0x0: 普通手术 0x1: 电机线圈电流和极性可通过串行接口直接编程: 寄存器 <i>DIRECT_MODE</i> (0x2D) 指定带符号的线圈 A 电流 (位 8..0) 和线圈 B 电流 (位 24..16)。在此模式下, 电流按 <i>IHOLD</i> 设置缩放。在此模式下, <i>StealthChop2</i> 基于速度的电流调节不可用。自动 <i>StealthChop2</i> 电流调节仅适用于低步进电机速度。
停止启用	15	电机硬停止功能使能。	0x0: 普通手术 0x1: 紧急停止: 当连接为高电平时, <i>ENCA</i> 停止定序器 (定序器不执行任何步骤, 电机进入静止状态)。
小磁滞	14		0x0: 步进频率比较的迟滞为 1/ 16 0x1: 步进频率比较的迟滞为 1/ 32
diag1_pushpul	13	DIAG1 输出类型配置。	0x0: DIAG1 为集电极开路输出 (低电平有效) 0x1: 使能 DIAG1 推挽输出 (高电平有效)
diag0_pushpul	12	DIAG0 输出类型配置。	0x0: DIAG0_SW 为集电极开路输出 (低电平有效) 0x1: 使能 DIAG0_SW 推挽输出 (高电平有效)

位域	比特币	描述	解码
diag1_onstate	10	DIAG1 输出配置。	0x0: 在斩波器打开时禁用 DIAG1active。 0x1: <i>诊断1_状态</i> 当斩波器打开时使能 DIAG1 有效（对于处于全步后半部分的线圈）
诊断1_索引	9	DIAG1 输出配置。	0x0: 禁用索引位置上的 DIAG1 活动。0x1: <i>诊断1_索引</i> 在索引位置启用 DIAG1（微步查找表位置 0）
诊断1_停止	8	DIAG1 输出配置。	0x0: <i>diag1_stall</i> DIAG1 0x1 处未指示电机停转： <i>diag1_stall</i> 在电机失速时启用 DIAG1 激活（设置 TCOOLTHRS 使用此功能之前）
诊断0_停止	7	DIAG0 输出配置。	0x0: <i>diag0_stall</i> DIAG0 0x1 处未指示电机停转： <i>diag0_stall</i> 使 DIAG0 在电机失速时处于活动状态（设置 TCOOLTHRS 使用此功能之前）
诊断0_otpw	6	DIAG0 输出配置。	0x0: 禁用驱动器过温预警时激活的 DIAG0 0x1: 启用驱动器过温预警时激活 DIAG0 (<i>otpw</i>)
诊断0_错误	5	DIAG0 输出配置。 DIAG0 始终显示复位状态，即在复位条件期间为低电平有效。	0x0: 驱动程序错误时禁用 DIAG0 活动。 0x1: 在驱动程序错误时启用 DIAG0 活动： 过温 (<i>ot</i>)、接地短路 (<i>s2g</i>)、电荷泵欠压 (<i>uv_cp</i>)
轴	4	改变电机方向/方向标志	0x0: 默认电机方向 0x1: 电机方向反转
多步过滤	3	为 StealthChop2 启用步进输入过滤	0x0: 无 StealthChop2 0x1: StealthChop2 电压 PWM 模式已启用（取决于速度阈值）。仅在静止状态且 IHOLD= 标称 IRUN 电流时从关闭状态切换到开启状态。
en_pwm_模式	2	启用 StealthChop2 模式	0x0: 无 StealthChop2 0x1: StealthChop2 电压 PWM 模式已启用（取决于速度阈值）。仅在静止状态且 IHOLD= 标称 IRUN 电流时从关闭状态切换到开启状态。
快速停止	1	检测到静止之前步骤执行超时	0x0: 正常时间：2^20 个时钟 0x1: 短时间：2^18 个时钟

GSTAT (0x1)

全局状态标志

(用“1”位重写以清除相应标志)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-

TMC2240		36V 2ARMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器						
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-



少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	-	-	-	vm_uvlo	注册重置	紫外线CP	驱动错误	重置
重置	-	-	-	0x1	0x1	0x1	0x0	0x1
接入类型	-	-	-	写1清除， 读	写1清除， 读	写1清除， 读	写1清除， 读	写1清除， 读
位域	比特	描述			解码			
vm_uvlo	4	1: VS自上次复位后发生欠压。（提示：首次启动后将处于活动状态。启动后清除标志以检测设备运行时的故障）						
注册重置	3	提示：首次启动后将处于活动状态。启动后清除标志以检测设备运行时的注册表重置			0x0: 正常运行 0x1: 表明寄存器映射已被重置。所有寄存器已被清除以重置值。			
紫外线CP	2	电荷泵欠压条件标志。（提示：首次启动后将处于活动状态。启动后清除标志以检测设备运行时的故障）			0x0: 正常运行 0x1: 指示电荷泵欠压。驱动器在欠压期间被禁用。该标志被锁存以获取信息。			
驱动错误	1	驱动程序错误标志			0x0: 正常运行 0x1: 表示驱动器因过热或短路检测而关闭。阅读 DRV_STATUS 了解详细信息。只有当温度再次低于限制时，该标志才能被清除			
重置	0	重置标志（提示：首次启动后将处于活动状态。启动后清除标志以检测设备在操作期间重置）			0x0: 正常运行 0x1: 表示IC已复位。			

IFCNT (0x2)

接口传输计数器。

该寄存器随着每次成功的 UART 接口写访问而递增。可以读出它来检查串行传输是否丢失数据。读取访问不会更改内容。在 SPI 操作中禁用。计数器从 255 循环到 0。

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	IFCNT[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
位域	比特币		描述					
IFCNT	7:0		接口传输计数器。该寄存器随着每次成功的 UART 接口写访问而递增。可以读出它来检查串行传输是否丢失数据。读取访问不会更改内容。 在 SPI 操作中禁用。计数器从 255 循环到 0。					

节点配置 (0x3)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	发送延迟[3:0]			
重置	-	-	-	-	0x0			
接入类型	-	-	-	-	写读			
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	节点地址[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述	解码
发送延迟	11:8	SWUART 节点配置	0x0: 8 位时间（多个节点不允许） 0x2: 3 x 8 位时间 0x4: 5 x 8 位时间 0x6: 7 x 8 位时间 0x8: 9 x 8 位时间 0xA: 11 x 8 位时间 0xC: 13 x 8 位时间 0xE: 15 x 8 位时间
节点地址	7:0	NODEADDR: 这八位设置 UART 接口的单元地址。地址按 SDI、SCK、CSN 的定义递增 1 至 7。 CSN、SCK、SDI 000: +0 001: +1 010: +2 011: +3 100: +4 101: +5 110: +6 111: +7 范围: 0-254（增量不得超过 254）	

IOIN (0x4)

读取所有可用输入引脚的状态并以最高字节返回 IC 版本

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	版本[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	硅_RV[2:0]		
重置	-	-	-	-	-	0x0		
接入类型	-	-	-	-	-	只读		
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	ADC_错误	外部时钟	EXT_RES_DET	输出	COMP_B1_B2	COMP_A1_A2	组件B	复合体A
重置	0x0	0x0	0x0	0x1	0x0	0x0	0x0	0x0
接入类型	只读	只读	只读	读写	只读	只读	只读	只读
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	预订的	串口_EN	ENCN	DRV_ENN	恩卡	欧洲国家CB	目录	步
重置		0x0		0x0	0x0	0x0	0x0	0x0
接入类型	只读	只读	只读	只读	只读	只读	只读	只读

位域	比特币	描述
版本	31:24	0x40 = IC 的第一个版本 相同的数字意味着完全的数字兼容性。
硅_RV	18:16	硅修订号
ADC_错误	15	1: 表明 ADC 工作不正常的信号。不要使用 ADC 功能。
外部时钟	14	0: 内部振荡器用于生成时钟信号 (12.5 MHz)。 1: 外部振荡器用于生成时钟信号。
EXT_RES_DET	13	1: REF 和 GND 之间的外部电阻 0: 未检测到外部电阻
输出	12	当通过引脚 UART_EN 启用 UART 时, SDO 引脚的输出极性。其主要目的是使用 SDO 作为 NAO 下一个地址输出信号, 用于多个 IC 的链式寻址。注意力: 复位值为 1, 用作单线链中下一个 IC 的 NAO
COMP_B1_B2	11	COMP_B1_B2 (StallGuard4 比较器 B, 用于 IC 测试)
COMP_A1_A2	10	COMP_A1_A2 (StallGuard4 比较器 A, 用于 IC 测试)
组件B	9	COMP_B (斩波比较器B, 用于IC测试)
复合体A	8	COMP_A (斩波比较器A, 用于IC测试)
预订的	7	
串口_EN	6	1 = UART 接口使能
ENCN	5	N沟道状态
DRV_ENN	4	驱动程序禁用/启用状态。
恩卡	3	A通道状态
欧洲国家CB	2	B通道状态
目录	1	
步	0	

DRV_CONF (0xA)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

TMC2240 36V 2ARMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	-	-	坡度控制[1:0]		-	-	当前_范围[1:0]	
重置	-	-	0x0		-	-	0x0	
接入类型	-	-	写读		-	-	写读	
位域	比特	描述				解码		
	币							
坡度控制	5:4	坡度控制设置				0x0: 100V/ μ s 0x1: 200V/ μ s 0x2: 400V/ μ s 0x3: 800V/ μ s		
当前_范围	1:0	此设置允许驱动器 RD _{SON} 电流感应对电机 电流范围进行基本调整。选择最低的拟合范 围以获得最佳电流精度。该值为峰值电流设 置。				0x0: 1A 0x1: 2A 0x2: 3A 0x3: 3A		

全局缩放器 (0xB)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	全球缩放器[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
环球缩放器	7:0	电机电流的全局缩放。该值乘以电流标度以使驱动器适应特定的电机类型。应在调整其他设置之前选择该值，因为它也会影响斩波器磁滞。该值仅用于微调电机电流。 0: 满量程（或写 256）1 ... 31: 不允许操作 32 ... 255: 最大电流的 32/256 ... 255/256。 暗示：为获得最佳结果，建议值 >128

IHOLD IRUN (0x10)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	伊伦延迟[3:0]			
重置	-	-	-	-	0x4			
接入类型	-	-	-	-	读写			
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	IHOLDDELAY[3:0]			
重置	-	-	-	-	0x1			
接入类型	-	-	-	-	读写			
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	伊润[4:0]			
重置	-	-	-	-	0b11111			
接入类型	-	-	-	-	读写			
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	-	-	-	-	我持有[4:0]			
重置	-	-	-	-	0b01000			
接入类型	-	-	-	-	读写			

位域	比特币	描述
伊伦延迟	27:24	控制检测到启动后电机通电的时钟周期数。0: 立即加电 1..15: 每个当前增量步长的延迟（以 IRUNDELAY * 512 时钟倍数为单位）
保持延迟	19:16	一旦检测到静止（<i>stst</i>=1）且 <i>TPOWERDOWN</i> 到期，控制运动后电机断电的时钟周期数。平滑的过渡避免了断电时电机的抖动。 0: 瞬时掉电 1..15: 每个电流减少步骤的延迟（以 2¹⁸ 时钟的倍数为单位）
伊润	12:8	电机运行电流（0=1/32...31=32/32） 暗示：选择检测电阻时，正常 IRUN 为 16 至 31，以获得最佳微步性能。

位域	比特币	描述
我持有	4:0	静止电流 (0=1/32...31=32/32) 与 StealthChop2 模式结合, 设置 <i>IHOLD</i> =0 允许选择续流或线圈短路使电机静止。

TPOWERDOWN (0x11)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	断电[7:0]							
重置	0xA							
接入类型	读写							

位域	比特币	描述
断电	7:0	<i>TPOWERDOWN</i> 设置电机静止后 (<i>stst</i>) 到电机当前断电的延迟时间。时间范围约为0到4秒。 注意力: 需要最小设置为 2 才能自动调节 <i>StealthChop2 PWM_OFFS_AUTO</i> 。 重置默认 = $10\ 0\cdots((2^8) - 1) \times 2^{18} \text{ tCLK}$

TSTEP (0x12)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	TSTEP[19:16]			
重置	-	-	-	-	0x0			
接入类型	-	-	-	-	只读			
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	TSTEP[15:8]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	TSTEP[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

位域	比特币	描述
TSEP	19:0	两个 1/256 微步之间的实际测量时间源自步进输入频率（以 1/fCLK 为单位）。溢出或静止时测量值为$(2^{20})-1$。 所有 TSTEP 相关阈值均使用比较值 1/16 的迟滞来补偿时钟或步进频率中的抖动。标志 <i>small_hysteresis</i> 将滞后修改为更小的值 1/32。 $(T_{xxx} \times 15/16) - 1$ 或 $(T_{xxx} \times 31/32) - 1$ 用作每个比较值的第二比较值。 这意味着，较低的开关速度等于计算的设置，但较高的开关速度更高，如迟滞设置所定义。

TPWMTHRS (0x13)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	TPWMTHRS[19:16]			
重置	-	-	-	-	0x0			
接入类型	-	-	-	-	写读			
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	TPWMTHRS[15:8]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	TPWMTHRS[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
脉宽调制THRS	19:0	这是 StealthChop2 电压 PWM 模式的上限速度。 $TSTEP \geq TPWMTHRS$ StealthChop2 PWM 模式已启用（如果已配置）

TCOOLTHRS (0x14)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	酷三[19:16]			
重置	-	-	-	-	0x0			
接入类型	-	-	-	-	写读			
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	酷三[15:8]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	TCOOLTHRS[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
酷思	19:0	这是开启智能能源 CoolStep 和 StallGuard 功能的下限阈值速度。（未签名） 设置此参数可在低速时禁用 CoolStep，从而无法可靠工作。当超过该速度时，失速输出信号被启用。一旦速度低于此阈值，它就会再次禁用。 $TCOOLTHRS \geq TSTEP \geq \text{大腿}$ - CoolStep 已启用（如果已配置） $TCOOLTHRS \geq TSTEP$ - 失速输出信号 (DIAG0/1) 启用（如果已配置）

大腿 (0x15)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	大腿[19:16]			
重置	-	-	-	-	0x0			
接入类型	-	-	-	-	写读			
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	大腿[15:8]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	大腿[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
大腿	19:0	该速度设置允许根据速度切换到不同的斩波器模式并全步进以最大化扭矩。（未签名） 每当超过 <i>THIGH</i> 阈值时，失速检测功能就会关闭 2-3 个电气周期，以补偿切换模式的影响。 <i>TSTEP</i> ≤ 大腿: • CoolStep 被禁用（电机以正常电流范围运行） • StealthChop2 电压 PWM 模式已禁用 • 如果设置了 <i>vhighchm</i>，则斩波器切换到 <i>chm</i> = 1，且 <i>TFD</i> = 0（仅具有慢速衰减的恒定关断时间）。 • 如果设置了 <i>vhighfs</i>，则电机以全步模式运行，失速检测将切换为全步模式失速检测。

DIRECT MODE (0x2D)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	DIRECT_C OIL_B[8]
重置	-	-	-	-	-	-	-	
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	写读

少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	DIRECT_COIL_B[7:0]							
重置								
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	DIRECT_COIL_A[8]
重置	-	-	-	-	-	-	-	
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	读写
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	DIRECT_COIL_A[7:0]							
重置								
接入类型	写读							
位域	比特币		描述					
DIRECT_COIL_B	24:16		当选择 GCONF 中的直接模式时： 有符号线圈 B 电流					
DIRECT_COIL_A	8:0		当选择 GCONF 中的直接模式时： 有符号线圈 A 电流					

ENCMODE (0x38)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	enc_sel_十进制	-	clr_enc_x
重置	-	-	-	-	-	0x0	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	读写	-	读写
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	pos_neg_edge[1:0]		clr_once	clr_cont	忽略_AB	pol_N	波尔_B	聚合酶A
重置	0x0			0x0	0x0	0x0	0x0	0x0
接入类型	读写		读写	读写	读写	读写	读写	读写

位域	比特币	描述	解码
enc_sel_decimal	10	编码器预分频器模式选择	0x0: 编码器预分频除数二进制模式: 计数 <i>ENC_CONST</i> (小数部分) /65536 0x1: 编码器 预分频除数十进制模式: 计数在 <i>ENC_CONST</i> (小数部分) /10000
clr_enc_x	8	编码器锁存器配置	0x0: 发生 N 事件时, <i>X_ENC</i> 被锁存到 <i>ENC_LATCH</i> 仅 0x1: 锁存并另外清除编码器计数器 <i>X_ENC</i> 在 N 事件
正负边	7:6	N通道事件灵敏度	0x0: N 通道事件在活动 N 事件级别期间处于活动 状态 0x1: N 通道在活动 N 事件 0x2 时有效: N 通道在 N 事件 0x3 处于非活动状态时有效: N 通道在有效去和 无效去 N 事件时有效
clr_once	5	位置锁存器配置	0x0: 禁用 0x1: 在写访问后的下一个 N 事件上锁存或锁存并清 除 <i>X_ENC</i>
clr_cont	4	位置锁存器配置	0x0: 禁用 0x1: 发生 N 事件时始终锁存或锁存并清除 <i>X_ENC</i> (每转一次, 建议将此设置与边沿敏感 N 事件结合 使用)
忽略_AB	3	N 事件配置	0x0: 仅当极性由下式给出时, 才会发生 N 事件 <i>pol_N</i> 、 <i>pol_A</i> 和 <i>pol_B</i> 匹配。 0x1: N 通道事件忽略 A 和 B 极性
pol_N	2	定义 N 的有效极性	0x0: 低电平有 效 0x1: 高电平 有效
波尔_B	1	N 通道事件所需的 B 极性	0x0: 负 0x1: 正
聚合酶A	0	N 通道事件所需的 A 极性	0x0: 负 0x1: 正

X_ENC (0x39)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	X_ENC[31:24]							
重置	0x0							
接入类 型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	X_ENC[23:16]							
重置	0x0							
接入类 型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	X_ENC[15:8]							
重置	0x0							
接入类 型	写读							

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	X_ENC[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
位域	比特币			描述				
X_ENC	31:0			实际编码器位置（有符号）				

ENC_CONST (0x3A)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	ENC_CONST[31:24]							
重置	0x10000							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	ENC_CONST[23:16]							
重置	0x10000							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	ENC_CONST[15:8]							
重置	0x10000							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	ENC_CONST[7:0]							
重置	0x10000							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
ENC_常量	31:0	累加常数（有符号） 16位整数部分，16位小数部分 X_ENC累加 +/-ENC_CONST/ (2^16 x X_ENC)（二进制） 或者 +/-ENC_CONST/ (10^4 x X_ENC)（十进制） ENCMODE位enc_sel_decimal在十进制和二进制设置之间切换。使用标志，以匹配旋转方向！ 二进制： ± [微步/2^16] ±(0 ... 32767.999847) 小数： ±(0.0 ... 32767.9999) 重置默认值 = 1.0 (=65536)

ENC STATUS (0x3B)

编码器状态信息

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	-	-	-	-	-	-	-	n_事件
重置	-	-	-	-	-	-	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	写1清除， 读
位域	比特币	描述			解码			
n_事件	0				0x0：无事件 0x1：检测到事件。 要清除状态位，请在相应位置写入 1。			

ENC LATCH (0x3C)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	ENC_LATCH[31:24]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	ENC_LATCH[23:16]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	ENC_LATCH[15:8]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	ENC_LATCH[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
位域	比特币			描述				
ENC_LATCH	31:0			编码器位置X_ENC在 N 事件上锁存				

ADC_VSUPPLY_AIN (0x50)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	ADC_AIN[12:8]				
重置	-	-	-					
接入类型	-	-	-	只读				
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	ADC_AIN[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	ADC_VSUPPLY[12:8]				
重置	-	-	-					
接入类型	-	-	-	只读				
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	ADC_VSUPPLY[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
位域	比特币			描述				
ADC_AIN	28:16			AIN 引脚电压的整数值。更新率 = 每 2048 个时钟 $V_{AIN} = \text{ADC_AIN} * 305.2\mu\text{V}$				
ADC_V电源	12:0			VS 电压的实际值（用低通滤波器滤波）。更新率：每2048个时钟 $V_S = \text{ADC_VSUPPLY} * 9.732\text{mV}$				

ADC_TEMP (0x51)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	保留[12:8]				
重置	-	-	-					
接入类型	-	-	-	只读				
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	保留[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	ADC_TEMP[12:8]				
重置	-	-	-					
接入类型	-	-	-	只读				
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	ADC_TEMP[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
位域	比特币		描述					
预订的	28:16							
ADC_温度	12:0		实际温度（经过低通滤波器过滤）更新率：每2048 个时钟 $\text{温度 [}^{\circ}\text{C]} = \frac{\text{ADC_TEMP} - 2038}{7.7}$					

OTW_OV_VTH (0x52)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	OVERTEMPPREWARNING_VTH[12:8]				
重置	-	-	-	0xB92				
接入类型	-	-	-	写读				
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	OVERTEMPPREWARNING_VTH[7:0]							
重置	0xB92							
接入类型	写读							

少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	OVERVOLTAGE_VTH[12:8]				
重置	-	-	-	0xF25				
接入类型	-	-	-	写读				
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	OVERVOLTAGE_VTH[7:0]							
重置	0xF25							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
过温警告 ING_VTH	28:16	过温警告阈值寄存器: ADC_TEMP >= OVERTEMPPREWARNING_VTH 将触发超温预警 (重置: 0xB92 等于 120° C)
过压_VTH	12:0	输出 OV 的过压阈值。默认: ADC 输入处 38V、36V 等于 1.125V

MSLUT_0 (0x60)

微步表条目 0...31

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_0[31:24]							
重置	0xAAAAB554							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_0[23:16]							
重置	0xAAAAB554							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_0[15:8]							
重置	0xAAAAB554							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_0[7:0]							
重置	0xAAAAB554							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_0	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL W</i> 位: 0: <i>W</i> = %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: <i>W</i> = %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认 = 正弦波表

MSLUT_1 (0x61)

微步表条目 32...63

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_1[31:24]							
重置	0x4A9554AA							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_1[23:16]							
重置	0x4A9554AA							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_1[15:8]							
重置	0x4A9554AA							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_1[7:0]							
重置	0x4A9554AA							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_1	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL W</i> 位: 0: <i>W</i> = %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: <i>W</i> = %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认 = 正弦波表

MSLUT_2 (0x62)

微步表条目 64...95

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_2[31:24]							
重置	0x24492929							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_2[23:16]							
重置	0x24492929							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_2[15:8]							
重置	0x24492929							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_2[7:0]							
重置	0x24492929							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_2	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL W</i> 位: 0: <i>W</i> = %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: <i>W</i> = %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认 = 正弦波表

MSLUT_3 (0x63)

微步表条目 96...127

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_3[31:24]							
重置	0x10104222							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_3[23:16]							
重置	0x10104222							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_3[15:8]							
重置	0x10104222							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_3[7:0]							
重置	0x10104222							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_3	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL W</i> 位: 0: <i>W</i> = %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: <i>W</i> = %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认 = 正弦波表

MSLUT_4 (0x64)

微步表条目 128...159

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_4[31:24]							
重置	0xFBFFFFFF							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_4[23:16]							
重置	0xFBFFFFFF							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_4[15:8]							
重置	0xFBFFFFFF							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_4[7:0]							
重置	0xFBFFFFFF							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_4	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的MSLUTSEL W位: 0: W= %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: W= %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值CUR_A和CUR_B存储在START_SIN中的MSCNT位置 0 中START_SIN90。 ofs31、ofs30、...、ofs01、ofs00 ofs255、ofs254、.....、ofs225、ofs224 重置默认= 正弦波表

MSLUT_5 (0x65)

微步表条目 160...191

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_5[31:24]							
重置	0xB5BB777D							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_5[23:16]							
重置	0xB5BB777D							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_5[15:8]							
重置	0xB5BB777D							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_5[7:0]							
重置	0xB5BB777D							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_5	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL</i> W位: 0: W= %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: W= %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认= 正弦波表

MSLUT_6 (0x66)

微步表条目 192...223

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_6[31:24]							
重置	0x49295556							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_6[23:16]							
重置	0x49295556							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_6[15:8]							
重置	0x49295556							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_6[7:0]							
重置	0x49295556							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_6	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的MSLUTSEL W位: 0: W= %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: W= %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值CUR_A和CUR_B存储在START_SIN中的MSCNT位置 0 中 START_SIN90。 ofs31、ofs30、...、ofs01、ofs00 ofs255、ofs254、.....、ofs225、ofs224 重置默认= 正弦波表

MSLUT_7 (0x67)

微步表条目 224...255

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	MSLUT_7[31:24]							
重置	0x404222							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	MSLUT_7[23:16]							
重置	0x404222							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	MSLUT_7[15:8]							
重置	0x404222							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSLUT_7[7:0]							
重置	0x404222							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
MSLUT_7	31:0	每个位给出组合时条目 x 和条目 x+1 之间的差异与相应的 <i>MSLUTSEL</i> W位: 0: W= %00: -1 %01: +0 %10: +1 %11: +2 1: W= %00: +0 %01: +1 %10: +2 %11: +3 这是第一个四分之一波的差分编码。起始值 <i>CUR_A</i> 和 <i>CUR_B</i> 存储在 <i>START_SIN</i> 中的 <i>MSCNT</i> 位置 0 中 <i>START_SIN90</i>。 <i>ofs31</i>、<i>ofs30</i>、...、<i>ofs01</i>、<i>ofs00</i> <i>ofs255</i>、<i>ofs254</i>、.....、<i>ofs225</i>、<i>ofs224</i> 重置默认= 正弦波表

MSLUTSEL (0x68)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	X3[7:0]							
重置	0xFF							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	X2[7:0]							
重置	0xFF							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	X1[7:0]							
重置	0x80							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	W3[1:0]		W2[1:0]		W1[1:0]		W0[1:0]	
重置	0x1		0x1		0x1		0x2	
接入类型	写读		写读		写读		写读	

位域	比特币	描述
X3	31:24	LUT 段 1 开始 使用单独的步长控制条目 Wx 可以将正弦波查找表分为最多四个段。段边界由 $X1$、$X2$ 和 $X3$ 选择。 段 0 从 0 到 $X1-1$。段 1 从 $X1$ 到 $X2-1$。段 2 从 $X2$ 到 $X3-1$。段 3 从 $X3$ 到 255。 对于定义的响应，值应满足：$0 < X1 < X2 < X3$
X2	23:16	LUT 段 1 开始 使用单独的步长控制条目 Wx 可以将正弦波查找表分为最多四个段。段边界由 $X1$、$X2$ 和 $X3$ 选择。 段 0 从 0 到 $X1-1$。段 1 从 $X1$ 到 $X2-1$。段 2 从 $X2$ 到 $X3-1$。段 3 从 $X3$ 到 255。 对于定义的响应，值应满足：$0 < X1 < X2 < X3$
X1	15:8	LUT 段 1 开始 使用单独的步长控制条目 Wx 可以将正弦波查找表分为最多四个段。段边界由 $X1$、$X2$ 和 $X3$ 选择。 段 0 从 0 到 $X1-1$。段 1 从 $X1$ 到 $X2-1$。段 2 从 $X2$ 到 $X3-1$。段 3 从 $X3$ 到 255。 对于定义的响应，值应满足：$0 < X1 < X2 < X3$
W3	7:6	LUT 宽度从 $ofs(X3)$ 至 $ofs(255)$ 中选择 宽度控制位编码 $W0 \cdots W3$: %00: MSLUT 条目 0、1 选择: -1, +0 %01: MSLUT 条目 0、1 选择: +0, +1 %10: MSLUT 条目 0、1 选择: +1, +2 %11: MSLUT 条目 0、1 选择: +2, +3
W2	5:4	LUT 宽度从 $ofs(X2)$ 至 $ofs(X3-1)$ 中选择 宽度控制位编码 $W0 \cdots W3$: %00: MSLUT 条目 0、1 选择: -1, +0 %01: MSLUT 条目 0、1 选择: +0, +1 %10: MSLUT 条目 0、1 选择: +1, +2 %11: MSLUT 条目 0、1 选择: +2, +3

位域	比特币	描述
W1	3:2	LUT 宽度从 $ofs(X1)$ 至 $ofs(X2-1)$ 中选择 宽度控制位编码 $W0 \cdots W3$: %00: MSLUT 条目 0、1 选择: -1, +0 %01: MSLUT 条目 0、1 选择: +0, +1 %10: MSLUT 条目 0、1 选择: +1, +2 %11: MSLUT 条目 0、1 选择: +2, +3
W0	1:0	LUT 宽度从 $ofs00$ 至 $ofs(X1-1)$ 中选择 宽度控制位编码 $W0 \cdots W3$: %00: MSLUT 条目 0、1 选择: -1, +0 %01: MSLUT 条目 0、1 选择: +0, +1 %10: MSLUT 条目 0、1 选择: +1, +2 %11: MSLUT 条目 0、1 选择: +2, +3

MSLUTSTART (0x69)

无论何时通过参考位置 $MSCNT=0$ ，起始值都会传输到微步寄存器 CUR_A 和 CUR_B 中。

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	OFFSET_SIN90[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	START_SIN90[7:0]							
重置	0d247							
接入类型	写读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	START_SIN[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
位域	比特币		描述					
OFFSET_SIN90	31:24		余弦波的有符号偏移 ± 127 微步。调整 $START_SIN90$ 以匹配位置 $MSCNT=0$ 处的微步波表					
START_SIN90	23:16		$START_SIN90$ 给出 $MSCNT=0$ 处的余弦波微步表条目的绝对值（表位置 $256+OFFSET_SIN90$ ）。					
START_SIN	7:0		$START_SIN$ 给出微步表条目 0 处的绝对值。					

MSCNT (0x6A)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	MSCNT[9:8]	
重置	-	-	-	-	-	-	0x0	
接入类型	-	-	-	-	-	-	只读	
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	MSCNT[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

位域	比特币	描述
多碳纳米管	9:0	微步计数器。指示 <i>CUR_B</i> 微步表中的实际位置。 <i>CUR_A</i> 使用偏移量 256（2 相电机）。 暗示：重新初始化之前移至 <i>MSCNT</i> 为零的位置 <i>MSLUTSTART</i> 或 <i>MSLUT</i> 和 <i>MSLUTSEL</i> 。

MSCURACT (0x6B)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	CUR_A[8]
重置	-	-	-	-	-	-	-	0xF7
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	只读
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	CUR_A[7:0]							
重置	0xF7							
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	CUR_B[8]
重置	-	-	-	-	-	-	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	只读

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	CUR_B[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

位域	比特币	描述
CUR_A	24:16	从 MSLUT 读取的电机 A 相（余弦波）的实际微步电流（未按电流缩放）
抑制	8:0	从 MSLUT 读取的电机 B 相（正弦波）的实际微步电流（未按电流缩放）

CHOPCONF (0x6C)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	diss2vs	diss2g	边缘	国际刑警组织	多分辨率 RES[3:0]			
重置	0x0	0x0	0x0	0x1	0x0			
接入类型	写读	写读	写读	写读	写读			
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	TPFD[3:0]				维高查姆	超高速文件系统	-	待定[1]
重置	0x4						-	0b10
接入类型	写读				写读	写读	-	写读
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	待定[0]	chm	-	迪夫迪克	FD3	HEND_OFFSET[3:1]		
重置	0b10		-	0x0		0x2		
接入类型	写读	写读	-	写读	写读	写读		
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	HEND_OFF 设 置 [0]	HSTRT_TFD210[2:0]			关闭时间 [3:0]			
重置	0x2	0x5			0x0			
接入类型	写读	写读			写读			
位域	比特币	描述			解码			
diss2vs	31	电源短路保护禁用			0x0: VS 短路保护开启 0x1: VS 短路保护已禁用			
diss2g	30	接地短路保护禁用			0x0: 接地短路保护开启 0x1: 接地短路保护已禁用			
边缘	29	启用双边沿步进脉冲			0x0: 禁用 0x1: 在每个步进边缘启用步进脉冲以降低步进频率要求。			
国际刑警组织	28	插值至 256 微步			0x0: 无插值 0x1: 实际微步分辨率 (<i>MRES</i>) 外推至 256 微步, 以实现最平滑的电机操作			

位域	比特币	描述	解码
MRES	27:24	微步分辨率选择 分辨率给出了每个正弦四分之一波的微步条目数。 当选择较低的微步分辨率时，驱动器会自动使用微步位置，从而产生对称波。步长 $=2^{MRES}[\text{微步}]$	0x0: 本机 256 微步设置。0x1: 128 0x2: 64 0x3: 32 0x4: 16 0x5: 8 0x6: 4 0x7: 2 0x8: 全步 0x9: 未使用
TPFD	23:20	被动快衰减时间 TPFD可以抑制电机中频共振。 无源快速衰减时间设置控制电桥极性改变后插入的快速衰减阶段的持续时间 NCLK= 128 x TPFD %0000: 禁用 %0001 ... %1111: 1 ... 15	
维高查姆	19	高速斩波模式 当超过VHIGH时，该位允许切换到chm=1 和 fd=0。这样，可以获得更高的速度。可以与 vhighfs=1 组合。如果设置，TOFF设置会在高速运行期间自动加倍，以避免斩波频率加倍。	
超高速文件系统	18	高速全步选择 当超过VHIGH时，该位允许切换到全步。仅在 45° 位置进行切换。全步目标电流使用微步表中 45° 位置处的电流值。	
TBL	16:15	TBL空白时间设置。 设置比较器空白时间（以时钟周期数为单位）。 提示: 对于大多数应用，建议使用 24 或 36 个时钟。 TBL = 0x0 的限制: 仅与外部时钟振荡器结合使用 $\leq 8\text{MHz}$ TBL = 0x1 的限制: 可以与内部时钟一起使用，或者如果外部时钟频率应用 $\leq 13\text{MHz}$。	0x0: 16个时钟 0x1: 24个时钟 0x2: 36个时钟 0x3: 54个时钟
chm	14	斩波器模式选择。 仅当en_pwm_mode设置为 0 或 $TSTEP < TPWMTHRS$时才有效	0x0: 标准模式 (SpreadCycle) 0x1: 恒定关断时间和快速衰减时间。 当达到负标称电流时，快速衰减时间也会终止。快速衰减是在时间之后。

TMC2240		36V 2ARMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器	
迪夫迪克	12	chm = 1 时的快速衰减模式	0x0: 启用电流比较器以终止快速衰减周期 0x1: 禁用当前比较器用于终止快速衰减周期

位域	比特币	描述	解码
FD3	11	TFD[3] 与 <i>chm</i> =1: 快速衰减时间设置的 MSBTFD	
HEND_OFFSET	10:7	与 <i>chm</i> =0: HEND迟滞低值 %0000 ... %1111: 迟滞为 -3, -2, -1, 0, 1, ..., 12 (此设置的 1/512 添加到当前设置) 这是用于磁滞斩波器的磁滞值。 与 <i>chm</i> =1: OFFSET正弦波偏移 %0000 ... %1111: 偏移量为 -3、-2、-1、0、1、...、12 这是正弦波偏移, 该值的 1/512 将添加到每个正弦波条目的绝对值中。	
HSTRT_TFD210	6:4	与 <i>chm</i> =0: HSTRT滞后起始值添加到 HEND %000 ... %111: 将 1, 2, ..., 8 添加到迟滞低值 HEND (此设置的 1/512 添加到当前设置) 注意力: 有效 $HEND + HSTRT \leq 16$ 。 暗示: 每 16 个时钟进行一次迟滞递减 与 <i>chm</i> =1: TFD [2..0]快速衰减时间设置 快速衰减时间设置 (MSB:fd3): %0000 ... %1111: 快速衰减时间设置 TFD NCLK = 32 x TFD (仅缓慢衰减)	
时间关闭	3:0	TOFF关闭时间和驱动器使能 关闭时间设置控制慢衰减阶段的持续时间 NCLK = 24 + 32 x TOFF %0000: 驱动程序禁用, 所有桥关闭 %0001: 1 - 仅与 $TBL \geq 2$ 一起使用 %0010 ... %1111: 2 ... 15	

COOLCONF (0x6D)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	斯菲尔特
重置	-	-	-	-	-	-	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	读写

少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	军士[6:0]						
重置	-	0x0						
接入类型	-	写读						
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	清民	sedn[1:0]		-	语义[3:0]			
重置	0x0	0x0		-	0x0			
接入类型	写读	写读		-	写读			
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	-	设置[1:0]		-	塞明[3:0]			
重置	-	0x0		-	0x0			
接入类型	-	写读		-	写读			
位域	比特币	描述			解码			
斯菲尔特	24	StallGuard2 过滤器启用			0x0: 标准模式, StallGuard 的高时间分辨率 0x1: 滤波模式, StallGuard 信号每四个全步更新一次, 仅用于补偿电机极容差			
中士	22:16	StallGuard2 阈值 该带符号值控制失速输出的 StallGuard2 电平, 并设置读出的最佳测量范围。值越低, 灵敏度越高。零是大多数电机工作的起始值。 -64 至 +63: 较高的值会使 StallGuard2 的灵敏度降低, 并且需要更大的扭矩来指示失速。						
清民	15	智能电流控制的最小电流			0x0: 当前设置的 1/2 (IRUN) 0x1: 当前设置的 1/4 (IRUN)			
塞登	14:13	当前下降速度 %00: 每 32 个 StallGuard2 值减少 1 %01: 每 8 个 StallGuard2 值减少 1 %10: 每 2 个 StallGuard2 值减少 1 %11: 对于每个 StallGuard2 值减一						
塞麦克斯	11:8	用于智能电流控制的 StallGuard2 迟滞值 如果 StallGuard2 结果等于或大于 (SEMIN+SEMAX +1) x 32, 电机电流会降低以节省能源。 %0000 ... %1111: 0 ... 15						

位域	比特币	描述	解码
瑟普	6:5	当前向上步长 每个测量的 StallGuard2 值的当前增量步骤 %00 ... %11: 1, 2, 4, 8	
塞明	3:0	智能电流控制的最小 StallGuard2 值和智能电流使能 如果 StallGuard2 结果低于 $SEM/N \times 32$ ，则电机电流会增加以减小电机负载角。 %0000: 智能电流控制 CoolStep 关闭 %0001 ... %1111: 1 ... 15	

DRV STATUS (0x6F)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	STST	奥尔布	奥拉	s2gb	s2ga	奥普瓦	奥特	摊位守卫
重置								
接入类型	只读	只读	只读	只读	只读	只读	只读	只读
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	CS_ACTUAL[4:0]				
重置	-	-	-					
接入类型	-	-	-	只读				
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	活跃的	隐身	s2vsb	s2vsa	-	-	SG_RESULT[9:8]	
重置					-	-		
接入类型	只读	只读	只读	只读	-	-	只读	
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	SG_RESULT[7:0]							
重置								
接入类型	只读							
位域	比特币	描述			解码			
STST	31	静止指示器 该标志表示电机在每种操作模式下处于静止状态。这发生在最后一个步进脉冲之后 2^{20} 个时钟周期。						
奥尔布	30	开路负载指示器 B 相			0x0: 正常运行 0x1: B 相检测到负载开路。 提示: 这只是一个信息性标志。司机没有对此采取任何行动。快速运动和静止时可能会发生错误检测。仅在慢动作期间检查。			

位域	比特币	描述	解码
奥拉	29	开路负载指示器 A 相	0x0: 正常运行 0x1: A 相检测到开路负载。 提示: 这只是一个信息性标志。司机没有对此采取任何行动。快速运动和静止时可能会发生错误检测。仅在慢动作期间检查。
s2gb	28	B 相接地短路指示器	0x0: 正常运行 0x1: 检测到 B 相对 GND 短路。驱动器被禁用。这些标志保持活动状态, 直到驱动器被软件 (<i>TOFF</i> =0) 或 ENN 输入禁用。
s2ga	27	对地短路指示器 A 相	0x0: 正常运行 0x1: 检测到 A 相对 GND 短路。驱动器被禁用。这些标志保持活动状态, 直到驱动器被软件 (<i>TOFF</i> =0) 或 ENN 输入禁用。
奥普瓦	26	超温预警标志	0x0: 正常运行 0x1: 超出过温预警阈值。 过热预警标志对于两个桥都是通用的。
奥特	25	超温标志	0x0: 正常运行 0x1: 已达到超温限制。驱动器将被禁用, 直到 <i>otpw</i> 由于 IC 冷却而也被清除。 过热标志对于两个桥都是通用的。
摊位守卫	24	StallGuard2/StallGuard4 状态	0x0: 正常运行 0x1: 电机堵转由 StallGuard2 (在 SpreadCycle 操作中) 分别检测到。通过 StallGuard4 (在 StealthChop2 操作中) 或全步失速 (在全步模式下)。
CS_实际	20:16	实际电机电流/智能电能电流 实际电流控制缩放, 用于监控通过寄存器 <i>COOLCONF</i> 中的设置控制的智能电能电流缩放, 或用于监控自动电流缩放功能	
活跃的	15	全步活动指示器	0x0: 微步激活 0x1: 表示驱动器已切换到由斩波器模式设置和速度阈值定义的全步
隐身	14	StealthChop2 指标	0x0: StealthChop2 未激活 0x1: 驱动程序在 StealthChop2 模式下运行
s2vsb	13	B 相电源短路指示器	0x0: 没有错误 0x1: 检测到 B 相电源短路。驱动器被禁用。这些标志保持活动状态, 直到驱动器被软件 (<i>TOFF</i> =0) 或 ENN 输入禁用。

位域	比特币	描述	解码
s2vsa	12	A 相电源短路指示器	0x0: 没有错误 0x1: 检测到 A 相电源短路。驱动器被禁用。这些标志保持活动状态，直到驱动器被软件 (<i>TOFF</i> =0) 或 ENN 输入禁用。
SG_RESULT	9:0	StallGuard2 结果和 StallGuard4 结果（取决于实际斩波器模式）。通过 SpreadCycle 使线圈 A 处于静止状态的 PWM 准时，用于电机温度检测。 机械载荷测量： StallGuard2/4 结果提供了一种测量机械电机负载的方法。值越高意味着机械负载越低。对于 StallGuard2，值 0 表示最高负载。通过最佳SGT设置，这是电机堵转的指示器。停顿检测将SG_RESULT与 0 进行比较，以检测停顿。SG_RESULT通过与可编程上限和下限进行比较，用作 CoolStep 操作的基础。它不适用于 StealthChop2 模式。 StallGuard2 最适合微步操作。 SpreadCycle 模式下的温度测量： 在静止状态下，无法获得 StallGuard2 结果。 SG_RESULT显示电机线圈 A 的斩波器接通时间。在特定电流设置下将电机移动到确定的微步位置，通过读取斩波器的接通时间来粗略估计电机温度。随着电机变热，其线圈电阻升高，斩波器的接通时间增加。有关 StallGuard4 的具体信息，请参阅 SG4_RESULT。	

PWMCONF (0x70)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	脉宽调制 _LIM[3:0]				脉宽调制寄存器 [3:0]			
重置	0xC				0x4			
接入类型	读写				读写			
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	pwm_dis_re g_stst	脉宽调制测 量 _sd_启用	飞轮[1:0]		pwm_autogr 广告	pwm_autos 刻度	脉宽调制频率[1:0]	
重置	0x0	0x0	0x0		0x1	0x1	0x0	
接入类型	读写	读写	读写		读写	读写	读写	

少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	PWM_GRAD[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	脉宽调制 _OFS[7:0]							
重置	0x1D							
接入类型	写读							
位域	比特币	描述			解码			
脉宽调制_LIM	31:28	开机时PWM自动缩放幅度限制 从 SpreadCycle 切换回 StealthChop2 时 <i>PWM_SCALE_AUTO</i> 的限制。该值定义了切换回来时自动电流控制的位 7 至 4 的上限。可以对其进行设置，以减少模式更改回 StealthChop2 期间的当前急动度。它不限制 <i>PWM_GRAD</i> 或 <i>PWM_GRAD_AUTO</i> 偏移量。（默认 = 12）						
脉宽调制寄存器	27:24	调节回路梯度 使用 <i>pwm_autoscale</i> =1 时用户定义的每半波最大 PWM 幅度变化。（1...15）： 1: 0.5 增量（最慢调节） 2: 1 增量 3: 1.5 增量 4: 2 个增量（重置默认值） 8: 4 个增量 ... 15: 7.5 增量（最快调节）						
脉宽调制解除寄存器 <i>_stst</i>	23	1= 当电机处于静止状态且电流减小（小于 <i>IRUN</i> ）时禁用电流调节。该选项消除了静止期间的任何调节噪音。						
<i>pwm_meas_sd_enable</i>	22	默认=0； 1：在低侧使用慢衰减阶段来测量电机电流以降低电流下限。						
飞轮L	21:20	允许不同的静止模式 当电机电流设置为零时（ <i>I_HOLD</i> =0），保持静止选项。 %00: 普通手术 %01: 随心所欲 %10: 使用 LS 驱动器将线圈短路 %11: 使用 HS 驱动器使线圈短路						

位域	比特币	描述	解码
pwm_autograd	19	PWM自动梯度适应	0x0: <i>PWM_GRAD</i>的固定值 (<i>PWM_GRAD_AUTO</i>=<i>PWM_GRAD</i>) 0x1: 自动调谐 (仅当<i>pwm_autoscale</i>=1 时) (重置默认值)<i>PWM_GRAD_AUTO</i>通过<i>PWM_GRAD</i>初始化, 而<i>pwm_autograd</i>=0 并在运动过程中自动优化。前提条件 <i>PWM_OFS_AUTO</i>已自动初始化。这需要在 <i>IRUN</i> 处停止 >130ms, 以便 a) 检测静止 b) 在<i>IRUN</i>处等待 > 128 个斩波周期, 并且 c) 调节 <i>PWM_OFS_AUTO</i>, 以便 $-1 < PWM_SCALE_AUTO < 1$ - 电机运行且 $1.5 \times PWM_OFS_AUTO \times (IRUN+1)/32 < PWM_SCALE_SUM < 4 \times PWM_OFS_AUTO \times (IRUN+1)/32$ 和 <i>PWM_SCALE_SUM</i> < 255。 调整所需时间<i>PWM_GRAD_AUTO</i> 每次 +/-1 变化约 8 个完整步骤。 还可以使用降低的斩波器频率来调整 <i>PWM_OFS_AUTO</i>。
pwm_自动缩放	18	PWM自动幅度缩放	0x0: 用户定义的前馈 PWM 幅度。当前设置<i>IRUN</i>和<i>IHOLD</i>没有影响! 由此产生的 PWM 幅度 (限制为 0...255) 为: $PWM_OFS \times ((CS_ACTUAL+1) / 32) + PWM_GRAD \times 256 / TSTEP$ 0x1: 启用自动电流控制 (重置默认值)
脉宽调制频率	17:16	PWM频率选择: %00: <i>fPWM</i>=2/1024 <i>fCLK</i> (重置默认值) %01: <i>fPWM</i>=2/683 <i>fCLK</i> %10: <i>fPWM</i>=2/512 <i>fCLK</i> %11: <i>fPWM</i>=2/410 <i>fCLK</i>	
脉宽调制_梯度	15:8	PWM 幅度的速度相关梯度: $PWM_GRAD \times 256 / TSTEP$ 该值被添加到<i>PWM_OFS</i>以补偿与速度相关的电机反电动势。 使用<i>PWM_GRAD</i>作为自动缩放的初始值, 以加快自动调整过程。为此, 请将 <i>PWM_GRAD</i> 设置为确定的应用特定值, 同时<i>pwm_autoscale</i>=0。之后, 设置 <i>pwm_autoscale</i>=1。完成后启用 <i>StealthChop2</i>。 暗示: 初始调整后, 可以从<i>PWM_GRAD_AUTO</i> 中读出所需的初始值。	

位域	比特币	描述	解码
脉宽调制 _OFS	7:0	用户定义的 PWM 幅度偏移 (0-255) 与静止状态下的满电机电流 ($CS_ACTUAL=31$) 相关。 (重置默认值 = 30) 使用 PWM_OFS 作为自动缩放的初始值, 以加快自动调节过程。为此, 请将 PWM_OFS 设置为确定的应用特定值, 同时 $pwm_autoscale=0$。之后, 设置 $pwm_autoscale=1$。完成后启用 StealthChop2。 $PWM_OFS=0$ 将禁止将电机电流按比例缩小到电机特定下测量阈值以下。此设置仅应在某些条件下使用, 即当电源电压上下变化两倍或以上时。它可以防止电机失控, 但也可以防止功率降至调节限值以下。 $PWM_OFS>0$ 允许自动缩放至低 PWM 占空比, 甚至低于较低的调节阈值。这允许根据实际 (保持) 电流范围 (寄存器 $IHOLD_IRUN$) 进行低 (静止) 电流设置。	

[PWM_SCALE \(0x71\)](#)

StealthChop2 幅度调节器的结果。这些值可用于监控自动 PWM 幅度缩放 (255=最大电压)。

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	PWM_SCALE_AUTO[8]
重置	-	-	-	-	-	-	-	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	只读
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	PWM_SCALE_AUTO[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	PWM_SCALE_SUM[9:8]	
重置	-	-	-	-	-	-	0x0	
接入类型	-	-	-	-	-	-	只读	

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	PWM_SCALE_SUM[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

位域	比特币	描述
PWM_规模_自动	24:16	
PWM_SCALE_SUM	9:0	位: 9...0: [0...1023]PWM_SCALE_SUM: 实际 PWM 占空比。该值用于缩放从正弦波表读取的值 CUR_A 和 CUR_B。1023: 最大占空比。该值扩展了两位 [1,0], 以实现更高精度的占空比读出。位 9..2 对应于其他 PWM 占空比相关寄存器中的 8 位值。

[PWM_AUTO \(0x72\)](#)

可以读出这些自动生成的值，以确定默认/加电设置
PWM_GRAD 和 PWM_OFS。

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	PWM_GRAD_AUTO[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	PWM_OFS_AUTO[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							

位域	比特币	描述
PWM_GRAD_AUTO	23:16	自动确定梯度值
PWM_OFS_自动	7:0	自动确定偏移值

SG4_THRS (0x74)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	sg_angle_of fset	sg4_filt_cn
重置	-	-	-	-	-	-	0x1	0x0
接入类型	-	-	-	-	-	-	写读	写读
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	SG4_THRS[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	写读							

位域	比特币	描述
sg_角度_偏移	9	1: 当从 StealthChop2 切换到通过 TPWMTHRS 控制的 SpreadCycle 时, 基于 StallGuard4 的自动相移补偿
sg4_filt_cn	8	1: 启用 SG4 滤波器, 0: 禁用 SG4 滤波器
SG4_THRS	7:0	失速检测阈值。StallGuard4 值 SG4_RESULT 与该阈值进行比较。 失速的信号是 $SG4_RESULT \leq SG4_THRS$ SG4_THRS 覆盖了 SG4_RESULT 可能范围的一半

SG4_RESULT (0x75)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	-	-	-	-	-	-	-	-
重置	-	-	-	-	-	-	-	-
接入类型	-	-	-	-	-	-	-	-

少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	-	-	-	-	-	-	SG4_RESULT[9:8]	
重置	-	-	-	-	-	-	0x0	
接入类型	-	-	-	-	-	-	只读	
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	SG4_RESULT[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
位域	比特币		描述					
SG4_RESULT	9:0		仅适用于 StallGuard4 的 StallGuard 结果。 。 SG4_RESULT 随着每个全步更新，独立于 TCOOLTHRS 和 SG4THRS 。值越高表示电机负载越低，扭矩余量越大。 仅适用于 StealthChop2 模式。位 9 和 0 将始终显示 0。缩放至 10 位是为了兼容 StallGuard2。					

SG4_IND (0x76)

少量	31	30	29	28	27	26	25	24
场地	SG4_IND_3[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	23	22	21	20	19	18	17 号	16
场地	SG4_IND_2[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	15	14	13	12	11	10	9	8
场地	SG4_IND_1[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
少量	7	6	5	4	3	2	1	0
场地	SG4_IND_0[7:0]							
重置	0x0							
接入类型	只读							
位域	比特币		描述					
SG4_IND_3	31:24		当 SG4_filt_en = 1 时： 显示用作滤波器输入的 SG4 测量 3					
SG4_IND_2	23:16		当 SG4_filt_en = 1 时： 显示用作滤波器输入的 SG4 测量 2					

TMC2240

36V 2ARMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

位域	比特币	描述
SG4_IND_1	15:8	当SG4_filt_en = 1时： 显示用作滤波器输入的 SG4 测量 1
SG4_IND_0	7:0	显示 SG4 测量 当 SG4_filt_en = 1 时： 显示用作滤波器输入的 SG4 测量 0

典型应用电路

标准应用电路

标准应用电路使用最少的附加组件。使用低ESR电解电容对电源进行滤波。电容器需要应对斩波操作引起的电流纹波。为了获得最佳性能，建议 V_S 时的最小容量为 $100\ \mu\text{F}$ 。电源电容器中的电流纹波还取决于电源内阻和电缆长度。 V_{CC_IO} 必须由外部源供电，例如低压降 3.3V 稳压器。

将所有滤波电容尽可能靠近相关 IC 引脚放置。对所有 GND 连接使用坚固的公共接地层。将 V_{DD1V8} 滤波电容器直接连接到 V_{DD1V8} 引脚。

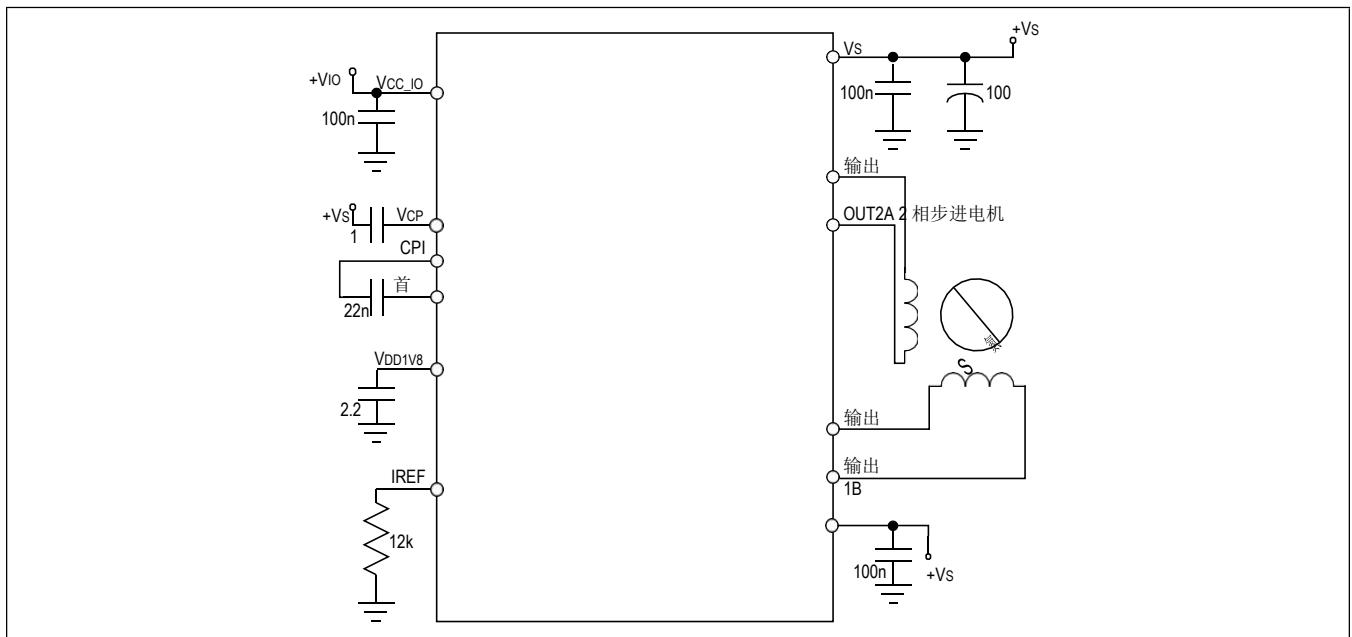


图 35. 标准应用电路

高电机电流

当在高电机电流下工作时，MOSFET 导通电阻导致的驱动器功耗会显著加热驱动器。如果以增加的占空比运行，这种功耗也会使 PCB 冷却基础设施升温。这反过来又导致驱动器温度进一步升高。温度升高约 100°C 会使 MOSFET 电阻增加约 50%。这是 MOSFET 开关的典型行为。因此，在高占空比、高负载条件下，必须仔细考虑热特性，特别是当要支持升高的环境温度时。有关热特性，请参阅[封装信息](#)，有关布局示例，请参阅在线评估套件信息。

根据经验，在 1.5A RMS 电机电流或以上的情况下，随着时间的增加，PCB 设计的热性能可能会变得至关重要。请注意，电阻功耗随电机电流的平方而增加。另一方面，这意味着电机电流的小幅降低可以显著节省散热和能源。

驱动器保护和 EME 电路

一些应用必须应对由电机运行或外部影响引起的 ESD 事件。尽管有静电放电

典型应用电路（续）

在驱动器芯片内的电路中，运行期间发生的 ESD 事件可能会导致电机驱动器复位甚至损坏，具体取决于其能量。特别是塑料外壳和皮带传动系统往往会导致几kV的ESD事件。避免 ESD 事件的最佳做法是将所有导电部件（尤其是电机本身）连接到 PCB 接地，或使用导电塑料部件。此外，还可以在在一定程度上保护驱动器免受 ESD 事件或带电插拔电机的影响，这也会导致电机连接器端子产生高电压和高电流。

一个简单的方案是在驱动器输出端使用电容器来降低 ESD 事件引起的 dV/dt 。较大的电容器在 ESD 抑制方面带来更多好处，但会在每个斩波周期中产生额外的电流，从而增加驱动器功耗，尤其是在高电源电压下。显示的值是示例值 - 它们可能在 100pF 和 1nF 之间变化。这些电容器还可抑制从应用 PCB 电路的数字部分注入的高频噪声，从而减少电磁辐射。

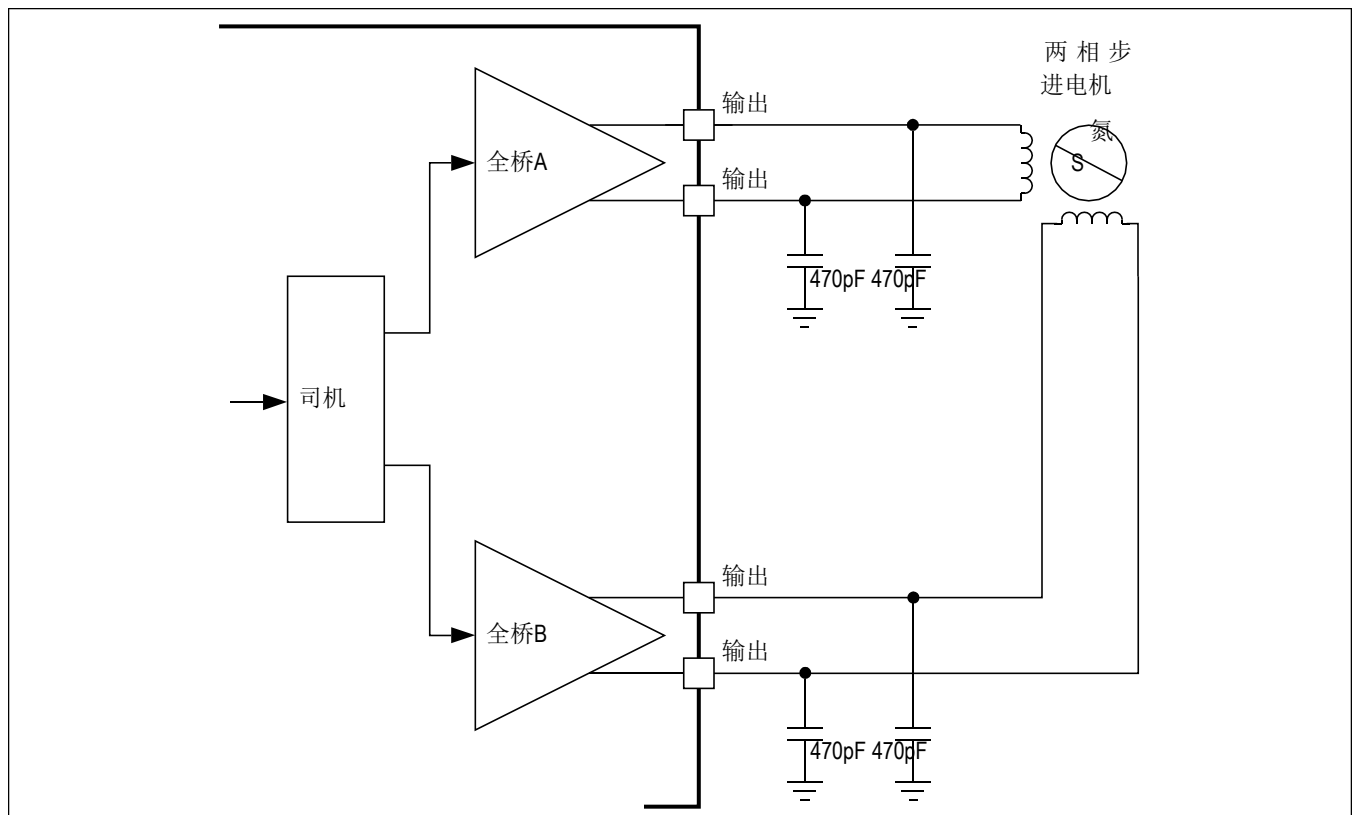


图 36. 简单的 ESD 增强

更复杂的方案使用 LC 滤波器将驱动器输出与电机连接器解耦。线圈端子之间的压敏电阻 V1 和 V2 消除了带电插拔引起的线圈过电压。可选择通过变阻器（V1A、V1B、V2A、V2B）保护所有输出免受 ESD 电压的影响。根据电源电压额定值安装压敏电阻。SMD 电感传导全部电机线圈电流，需要进行相应选择。

典型应用电路（续）

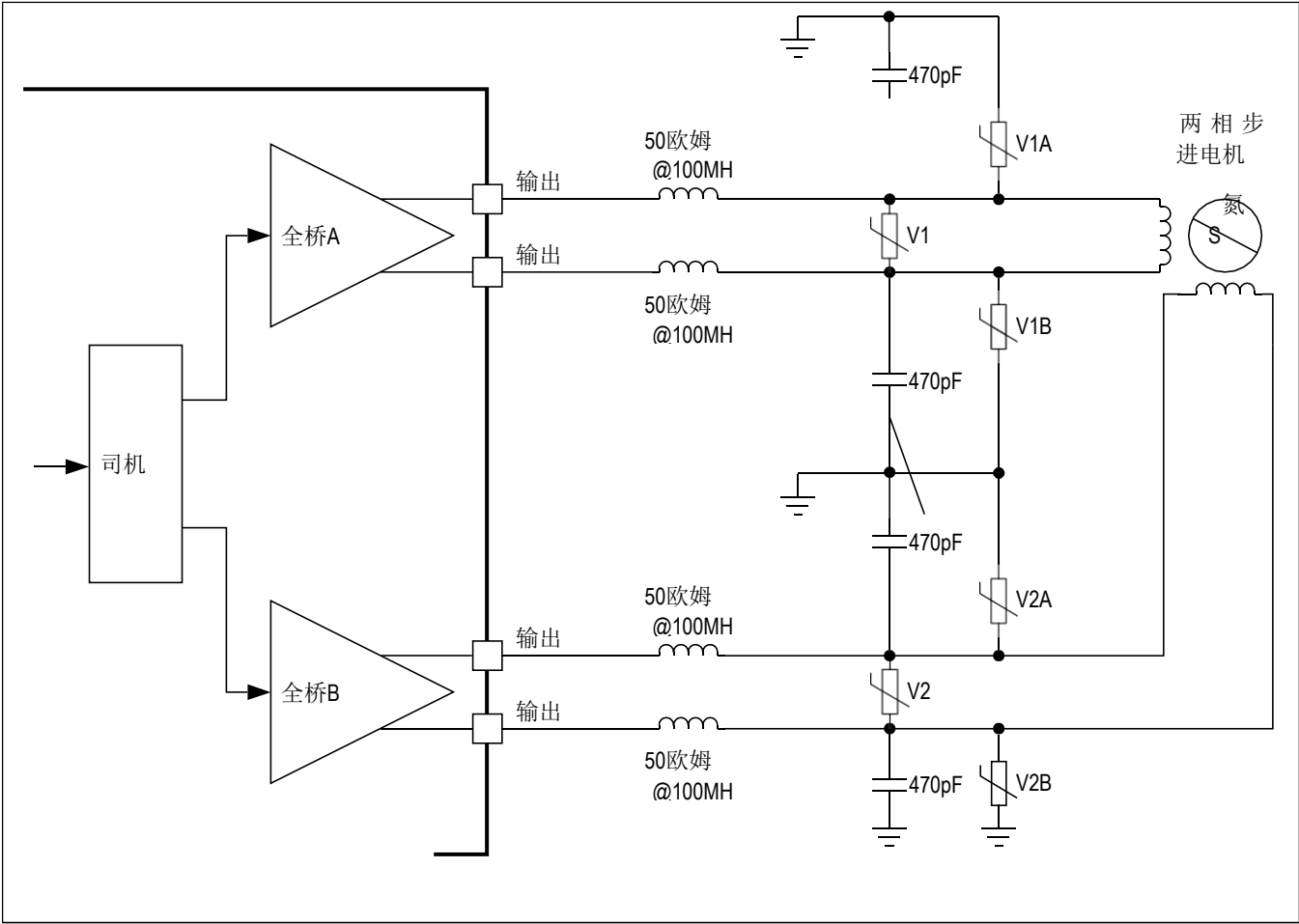


图 37. 扩展电机输出保护

订购信息

零件号	温度范围	PIN-封装
TMC2240ATJ+	-40° C 至 +125° C	32 TQFN - 5 毫米 x 5 毫米
TMC2240ATJ+T	-40° C 至 +125° C	32 TQFN - 5 毫米 x 5 毫米
TMC2240AUU+	-40° C 至 +125° C	38 TSSOP-EP 4.4mm x 9.7mm
TMC2240AUU+T	-40° C 至 +125° C	38 TSSOP-EP 4.4mm x 9.7mm

+ 表示无铅 (Pb)/符合 RoHS 标准的封装。T 表示卷带式。

修订记录

修订号	修订日期	描述	页面已更改
0	7/22	发布市场介绍	—
1	2/23	电气特性的变化；引脚说明；注册地图；订购信息。 更新了图 2、9、12、22 更新了表 11-16 和 18-22 更新了 StealthChop2 、设置满量程电流范围、 StallGuard4 负载测量、 CoolStep 负载自适应电流调节、过压保护和 OV 引脚；典型应用电路的变化。	9-13、15-17、 75-123, 126 19, 32, 34, 53 32、40、42、 44、 46、48、50、 51、 53, 55 30-41、47- 48、 52-57、66、124
		添加了新章节外部模拟输入 AIN 监控、快速配置指南。	67-68, 68-73

TMC2240

36V 2ARMS+ 带 S/D 和 SPI 的智能集成步进驱动器

用可能导致的任何专利或第三方其他权利的侵犯承担任何责任。规格如有变更，恕不另行通知。Analog Devices 的任何专利或专利权均未以暗示或其他方式授予许可。商标和注册商标是其各自所有者的财产。

i