

## Application Note

## 使用纹波计数算法解决无传感器有刷直流电机转速和位置控制问题



Karan Doshi and Jacob Thompson

## 摘要

本应用报告将介绍使用有刷直流 (BDC) 电机的电流纹波进行速度和位置检测的集成式无传感器解决方案。当 BDC 电机应用需要电机的位置和速度信息时，这些信息通常由编码器或霍尔效应传感器测量得到。此类设计的成本高昂，需要更多空间，在整个应用生命周期内的设计和维护都很复杂。德州仪器 (TI) 的 DRV8214 和 DRV8234 是完全集成的 BDC 电机驱动器，可以消除对这些外部霍尔传感器和编码器的需求。除了详细介绍该解决方案的设置和调优外，本文档还将提供示例和测试结果。此外，还将分析各种测试条件下的测试结果的精度。

## 内容

1 引言：对无传感器设计的需求.....	2
2 纹波计数 - 概念.....	2
2.1 纹波计数算法详细信息.....	3
3 案例研究：机器人滚轮驱动.....	4
3.1 机器人滚轮电机工作条件.....	4
3.2 纹波计数参数调优.....	4
3.3 具有纹波计数功能的机器人滚轮电机.....	6
4 挑战和权变措施.....	13
4.1 平均电流过低.....	13
4.2 停止期间的电机惯性.....	15
4.3 浪涌.....	16
4.4 高负载条件.....	17
5 总结.....	19
6 参考资料.....	19
7 修订历史记录.....	20

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言：对无传感器设计的需求

为了在闭环系统中运行，有刷直流电机需要了解实时电机转速、电压、位置和温度等信息。虽然现有驱动器集成了电流、电压和温度检测功能，但速度和位置检测需要使用外部传感器，例如基于光学编码器和霍尔效应的传感器。由此可导致：

- 设计复杂性增加
- BOM 数目增加
- BOM 成本增加
- 由于增加了元件而导致更高的故障风险，从而导致整体可靠性降低

DRV8214 和 DRV8234 采用了集成的纹波计数算法，可实现无传感器的速度和位置检测。这将带来显著的系统级优势。通过 I2C 对参数进行调优可以获得高精度结果。

## 2 纹波计数 – 概念

纹波计数的工作原理是检测 BDC 电机的电枢绕组换向过程中出现的电流纹波。换向是 BDC 电机绕组内的电流反向过程，旨在确保电机扭矩在电机运行期间保持在同一方向。与换向器配合使用的接触电刷会导致电机绕组发生瞬时短路，这些短路会在观察到的电机电流波形中表现为纹波。每次换向对应一个纹波。因此，计算电机旋转一周内的纹波数量有助于估算电机相对于初始位置的位置。

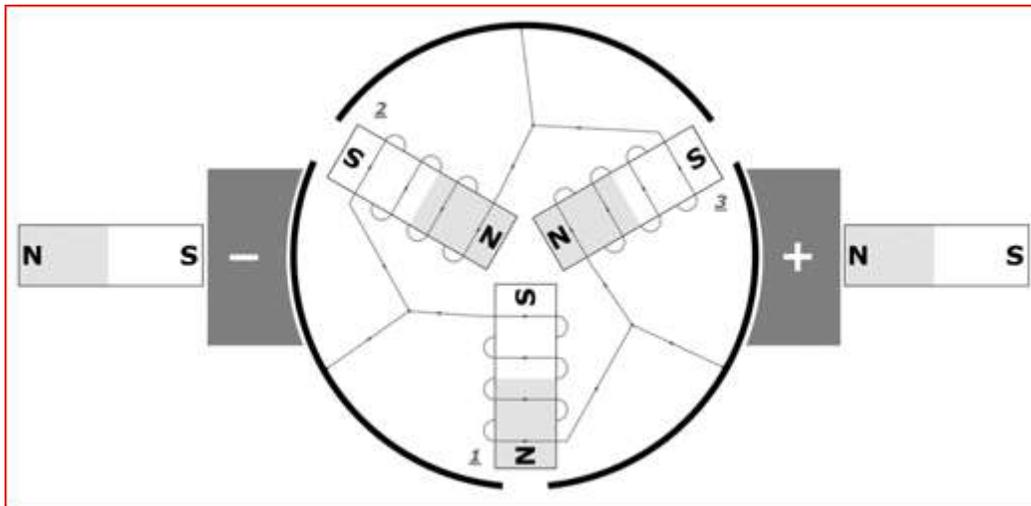


图 2-1. 具有 2 个电刷和 3 个换向器的直流电机结构

测量单位时间内的纹波可提供纹波速度（或纹波频率） $\omega_R$ （以 Hz 为单位）。若要转换为 rad/s，请使用以下公式：

$$\omega_R \text{ (in rad/s)} = \omega_R \text{ (in Hz)} \times 2\pi \quad (1)$$

知道换向片和电刷的数量后，即可通过将纹波频率除以每转纹波数来计算电机转速  $\omega_M$ 。每转纹波数  $N_R$  的计算方法是取电刷数 ( $N_B$ ) 和换向片数 ( $N_C$ ) 的最小公倍数 (LCM)。

$$N_R = \text{LCM}(N_B, N_C) \quad (2)$$

因此，电机转速的计算公式如下：

$$\omega_M \text{ (in rad/s)} = \frac{\omega_R \text{ (in rad/s)}}{N_R} \quad (3)$$

$$\omega_M \text{ (in rpm)} = \omega_M \text{ (in rad/s)} \times \frac{60}{2\pi} \quad (4)$$

请注意，可以使用在线 LCM 计算器轻松计算 LCM。

例如，从图 1-1 中，我们看到  $N_B=2$ ， $N_C=3$ 。因此， $N_R = \text{LCM}(2,3) = 6$ 。这一数值可以通过逻辑得到验证，因为每个电刷在每转中使每对换向片短路一次。有 2 个电刷和 3 个换向器会导致每转发生 6 次短路。因此，每转有 6 个纹波。图 1-1 显示了 100% 占空比稳态运行期间的电流波形示例。

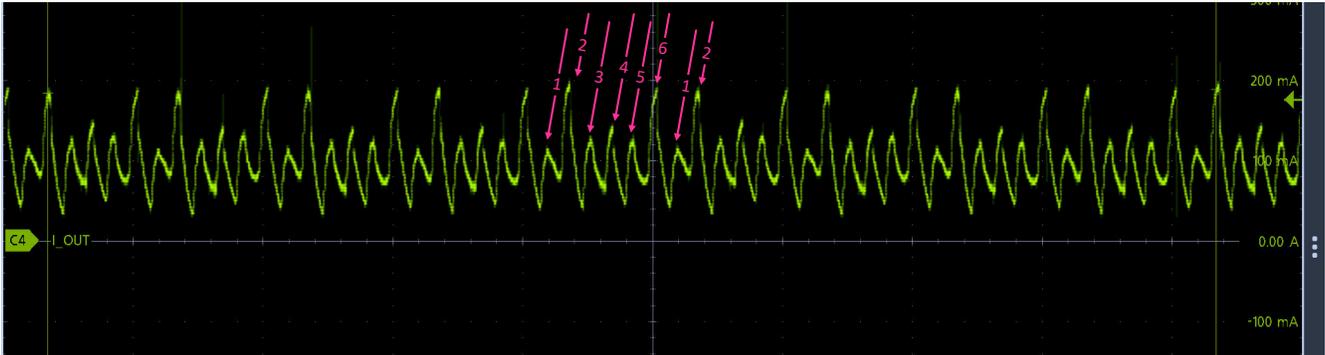


图 2-2. 存在纹波的有刷直流电机电流波形

## 2.1 纹波计数算法详细信息

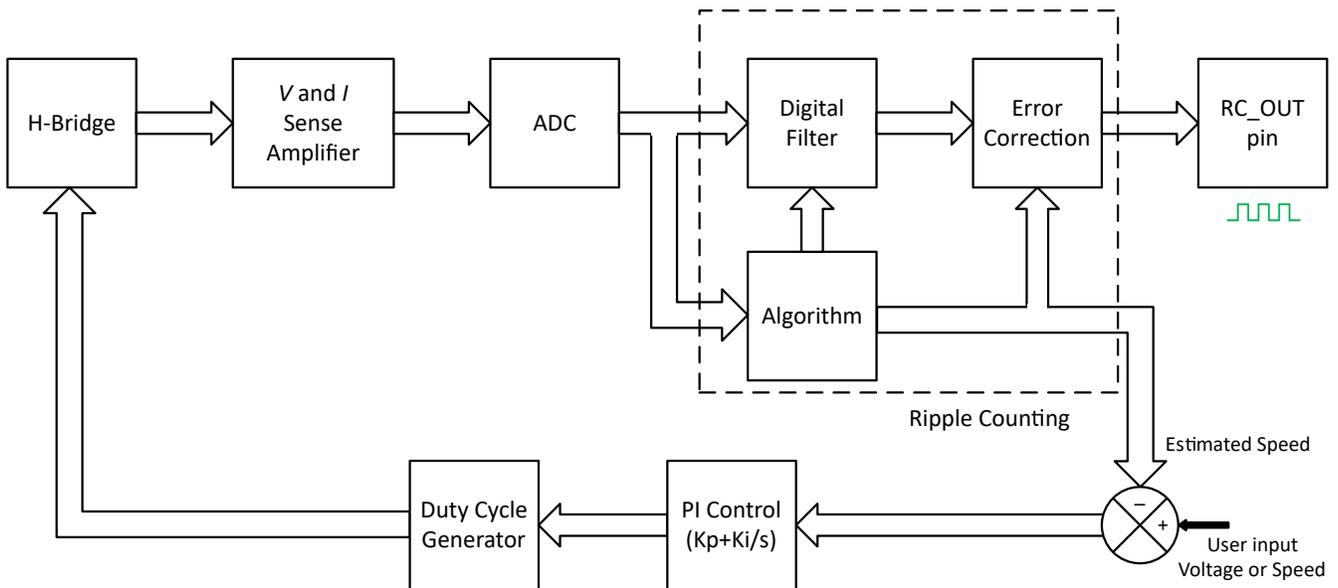


图 2-3. 纹波计数方框图

图 1-1 展示了纹波计数算法的方框图。换向过程的动态性质以及电刷会产生不必要的噪声，并导致电流纹波波形失真。使用数字滤波器即可过滤掉电流信号中这种不必要的噪声。为了提高精度，误差校正器模块通过向结果中加上或减去设定的纹波计数数量来执行信号调节，从而补偿由于系统中过多噪声而导致的过度计数或计数不足。经调节的纹波输出波形通过 DRV8214 和 DRV8234 中的 RC\_OUT 引脚输出。PI (比例积分) 控制环会根据所需的速度或电压调节值与实测值之间的差异生成占空比命令。

### 3 案例研究：机器人滚轮驱动

自主机器人使用有刷直流电机来驱动滚轮，从而使机器人能够在地板上移动。由于这些设备的自主性，准确可靠的位置和速度控制对于精确导航和避障至关重要。本案例研究以扫地机器人电机为例，探讨纹波计数算法的调优过程和挑战。通过 I<sup>2</sup>C 优化的校准可实现相似的性能，因此无需使用编码器。

#### 3.1 机器人滚轮电机工作条件

本例中使用的电机是用于驱动真空吸尘器扫地机器人滚轮的典型有刷直流电机。DRV8234 用于驱动电机。表 3-1 介绍了机器人滚轮电机的工作条件。

表 3-1. 电机工作条件

参数	值
电源电压	11V
线圈电阻	10 Ω <sup>(1)</sup>
换向器数量	3
电刷数量	2
负载	空载

(1) 计算电阻的方法是各种电压电平下的 50 个值取平均值。有关如何计算电机电阻的详细信息，请参阅 DRV8214 和 DRV8234 数据表。

#### 3.2 纹波计数参数调优

DRV8214 和 DRV8234 数据表中介绍了纹波计数算法的调优过程。本节将介绍在机器人滚轮电机示例的调优过程每个步骤中获得的结果。请注意，调优过程由 GUI 在评估模块 (EVM) 板中自动执行。更多详细信息，请参阅 DRV8214 和 DRV8234 的产品页面。

##### 3.2.1 电阻参数

本节参考了 DRV8234 数据表的第 8.2.3.1.1 节 (电阻参数)。第一步是找到电机电阻。使用推荐的方法，发现机器人滚轮电机的电阻为 10 Ω。

#### 备注

执行电压扫描的步骤：

1. 将电机直接连接到电源，确保电压刚好低于电机开始旋转所需的电压。对于机器人滚轮电机，该电压值为 1.2V。
2. 使用电流探头、内联万用表或电源读数读取电流。
3. 使用以下公式计算电机电阻：电机电阻 = 电压/失速电流。
4. 在各种电压下重复该测试。请注意，需要有意在更高的电压下使电机失速。
5. 取所有值的平均值来计算电机电阻值。

以前面的 10 Ω 为例，根据 INV\_R\_SCALE 的选择，可以得到以下可能的结果：

表 3-2. INV\_R\_SCALE 和 INV\_R 的选择示例

位	INV_R_SCALE 值	INV_R_SCALE/电机电阻 (实际值)	四舍五入值 INV_R	注释
00b	2	2/10=0.2	0	请勿选择，因为输出为 0。
01b	64	64/10=6.4	6	请勿选择，因为位精度较低。
<b>10b</b>	<b>1024</b>	<b>1024/10=102.4</b>	<b>102</b>	<b>可以选择该值。</b>
11b	8192	8192/10=819.2	819	不能选择该值，因为 819 超出了 INV_R 的最大限制 (255)。

请注意，GUI 不会自动计算电机电阻。GUI 会根据输入的电机电阻值为 INV\_R 和 INV\_R\_SCALE 选择合适的值。如需详细了解如何使用评估模块 (EVM) 和 GUI，请参阅 EVM 用户指南。

### 3.2.2 KMC 和 KMC\_SCALE

KMC\_SCALE 和 KMC 的选择可分为两种情况：

1. 用户可从电机数据表中获知电机反电动势常数  $K_V$  的值。如需这种情况中的调优指南，请参阅 DRV8234 数据表中的第 8.2.3.1.2.1 节。
2. 用户不知道电机反电动势常数  $K_V$  的值。如需这种情况中的调优指南，请参阅 DRV8234 数据表中的第 8.2.3.1.2.2.1 节。

对于机器人滚轮电机， $K_V$  的值是未知的。因此，执行了步骤 2。需要从头开始手动调优 KMC 和 KMC\_SCALE。调优开始前，这两个参数会在开始时复位。

#### 3.2.2.1 KMC\_SCALE 调优

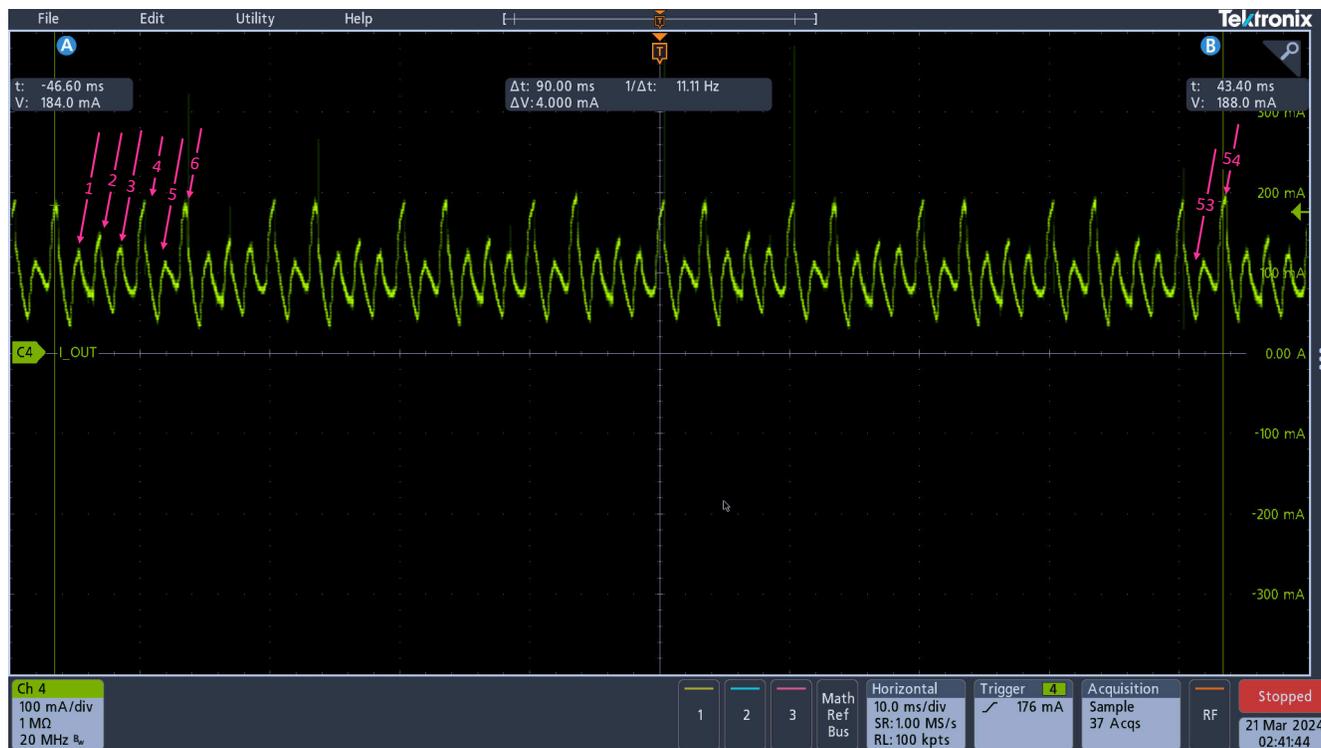


图 3-1. 纹波频率计算

- 根据第 8.2.3.1.2.2.1.1 节，KMC\_SCALE 调优的第一步是获取以 rad/s 为单位的实际纹波速度值。此方案中，电机在空载条件下以 11V 电压连接到 DRV8234。使用电流探头在示波器上观察电机电流波形，获得以 Hz 为单位的纹波频率（如图 1-1 所示）。观察到的纹波数量（54）除以时间（90ms）可获得 600Hz 的纹波频率。使用方程式 1 计算出的纹波频率（以 rad/s 为单位）为 3769.91rad/s。设置 OBS\_SPEED = 3770rad/s。
- 下一步是选择 KMC\_SCALE 的最低值 00b，并将 KMC 设置为尽可能高的值 255。
- 下一步是将 W\_SCALE 设置为一个允许最大纹波速度大于 OBS\_SPEED 的值。在本例中，W\_SCALE 被设置为 00b（允许最大值为 4080rad/s）\*，例如 16rad/s。
- 按照数据表中所述的后续步骤，我们发现本例中 KMC\_SCALE 的调优值为 10b。DRV8234 数据表中的图 8-3（KMC\_SCALE 调优过程）展示了 KMC\_SCALE 调优的流程图。表 3-3 总结了本例中调优 KMC\_SCALE 的迭代步骤。

**表 3-3. KMC\_SCALE 调优**

迭代步骤	KMC_SCALE	KMC	SPEED	W_SCALE	EST_SPEED (rad/s)	OBS_SPEED (rad/s)	决策
1	00b	255	0x0F (15)	00b	240	3770	EST<OBS
2	01b	255	0x1E (30)	00b	480	3770	EST<OBS
3	10b	255	0xF0 (240)	00b	3840	3770	EST>OBS

### 3.2.2.2 KMC 调优

- 根据数据表第 8.2.3.1.2.2.1.2 节，KMC 调优的第一步是验证 EST\_SPEED < OBS\_SPEED 且 KMC 的值为 255。如果并非如此，请重新启动调优过程。
- 按照数据表中的后续步骤，我们发现 KMC 调优后的值为 32。DRV8234 数据表中的图 8-4（用于查找 KMC 的二进制搜索算法）显示了使用二进制搜索算法进行 KMC 调优的流程图。表 3-4 总结了本例中进行 KMC 调优的迭代步骤。

**表 3-4. KMC 调优**

迭代步骤	KMC_SCALE	KMC	启动	MID	END	EST_SPEED (rad/s)	OBS_SPEED (rad/s)	决策
1	10b	1	1	128	255	4080	3770	EST>(OBS+16)
2	10b	128	1	64	128	960	3770	EST<(OBS-16)
3	10b	64	1	32	64	1920	3770	EST<(OBS-16)
4	10b	32	32	48	64	3776	3770	EST 在 OBS±16 范围内

### 3.3 具有纹波计数功能的机器人滚轮电机

调优后的参数如表 3-5 所示。对于未提及的可写寄存器值，请采用默认值。请注意，建议仅在 PWM 期间开启误差校正器 (DIS\_EC=0b)，因为电流波形有噪声。

**表 3-5. 扫地机器人滚轮电机的调优参数值**

参数/寄存器	位/十进制	值
EN_RC	1b	-
W_SCALE	01b	32 rad/s
INV_R_SCALE	10b	1024
INV_R	0x66	102
KMC_SCALE	01b	$24 \times 2^9$
KMC	0xFC	252
FLT_GAIN_SEL	11b	16
FLT_K	0110b	6

### 备注

以下各节将演示纹波计数算法在各种情况下的表现。请注意：

1. RC\_OUT 输出以黄色表示。
2. 使用电流探头观察电机电流，此电流以绿色显示。
3. 编码器输出以粉色显示。
4. 精度根据编码器的输出计算得出。编码器每旋转一圈发出 4 个脉冲。RC\_OUT 每旋转一圈发出 6 个计数。因此，可以使用以下公式计算精度：

$$\text{Accuracy} = \left[ \frac{\text{No. of RC\_OUT counts}}{6} \div \frac{\text{No. of encoder counts}}{4} \right] \times 100\% \quad (5)$$

#### 3.3.1 浪涌和稳态性能

在有刷直流电机中，由于没有任何反电动势，启动过程中会产生很大的浪涌电流。图 1-1 显示了浪涌期间使用表 3-5 中的调优参数执行纹波计数算法的性能。为提高精度，T\_MECH\_FLT 寄存器已设置为 000b，如图 1-1 所示。如需有关 T\_MECH\_FLT 寄存器的说明，请参阅节 4.3。节 4.3 中说明了更多针对瞬态条件（包括浪涌）的权变措施。工作条件与在调优过程中相同。PWM 处于 100% 占空比。有关如何在低占空比下解决 PWM 导致的低平均电流问题的示例，请参阅节 4.1。



图 3-2. 11V、100% 占空比时的浪涌电流

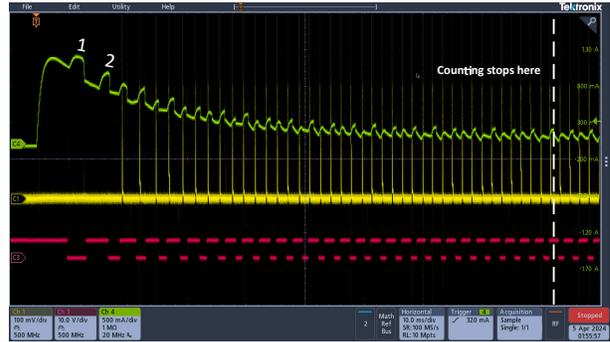


图 3-3. 使用 T\_MECH\_FLT 提高性能

根据方程式 5，图 1-1 和图 1-1 的精度计算如表 3-6 所示。在这些图中，当电机完成 7 次完整旋转时，由于电机电流达到稳态值，因此计数停止。

表 3-6. 浪涌期间的精度

参数	未调优	已调优
编码器计数	28	28
RC_OUT 计数	38	40
精度	90.5%	95.2%

图 1-1 显示了纹波计数算法在稳态期间的性能。显然，所有纹波都通过 RC\_OUT 引脚进行准确跟踪。表 3-7 比较了相对于编码器的纹波计数精度。

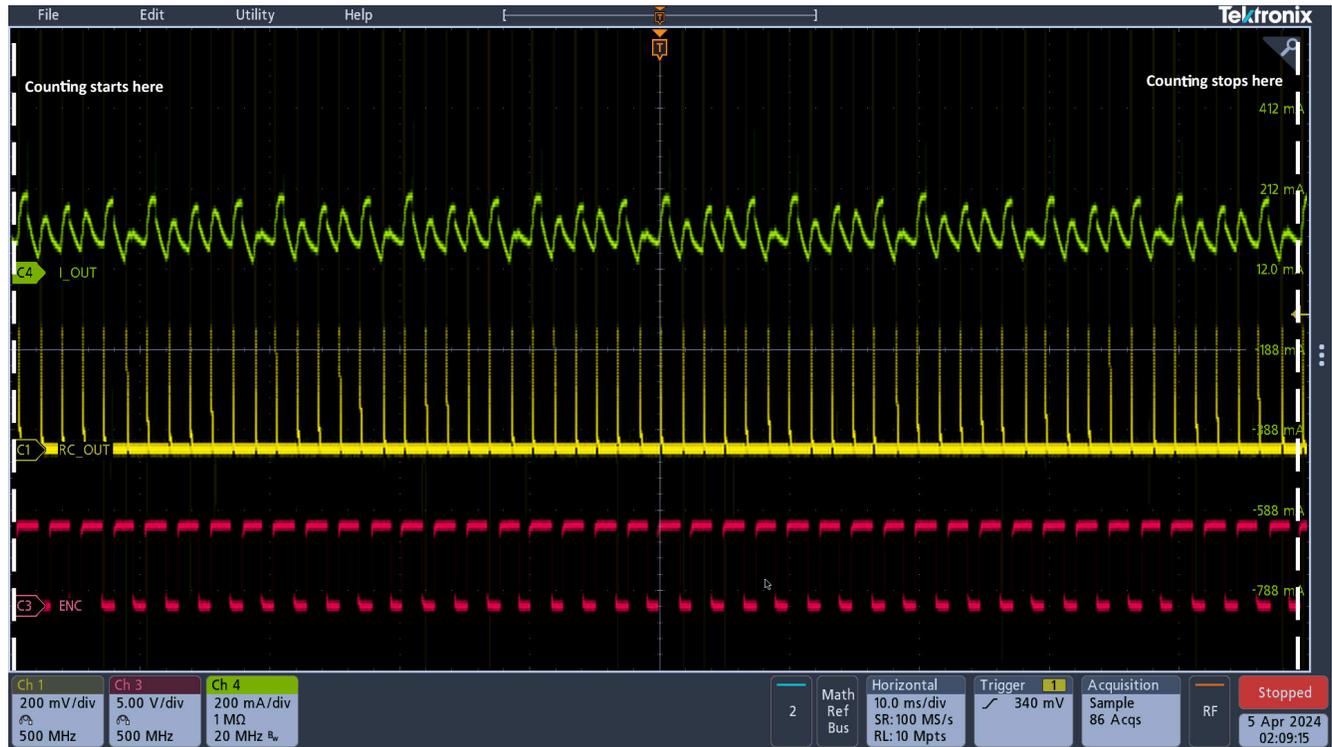


图 3-4. 稳态期间的性能

表 3-7. 稳态期间的精度

参数	稳态
编码器计数	40
RC_OUT 计数	60
精度	100%

### 3.3.1.1 电机转速计算

为了计算电机转速并验证纹波计数是否给出了准确的电机转速，我们需要首先知道实际电机转速。此数值是借助编码器获得的。从图 1-1 可以看出，编码器在 80.3ms 内发出了 32 个脉冲。由于编码器在电机每转一圈时还会发出 4 个脉冲，因此电机的实际转速可通过以下公式得出：

$$\text{Motor Speed (rpm)} = \frac{32}{80.3} \times \frac{1}{4} \times 1000 \times 60 = 5977.58 \text{ rpm} \quad (6)$$

从图 1-1 可以看出，RC\_OUT 引脚在 80.3ms 内发出了 48 个脉冲。由于 RC\_OUT 在电机每转一圈时发出 6 个脉冲，因此使用 RC\_OUT 计算电机转速的公式如下：

$$\text{Motor Speed (rpm)} = \frac{48}{80.3} \times \frac{1}{6} \times 1000 \times 60 = 5977.58 \text{ rpm} \quad (7)$$

所以，在稳态条件下，纹波计数输出与编码器输出匹配。

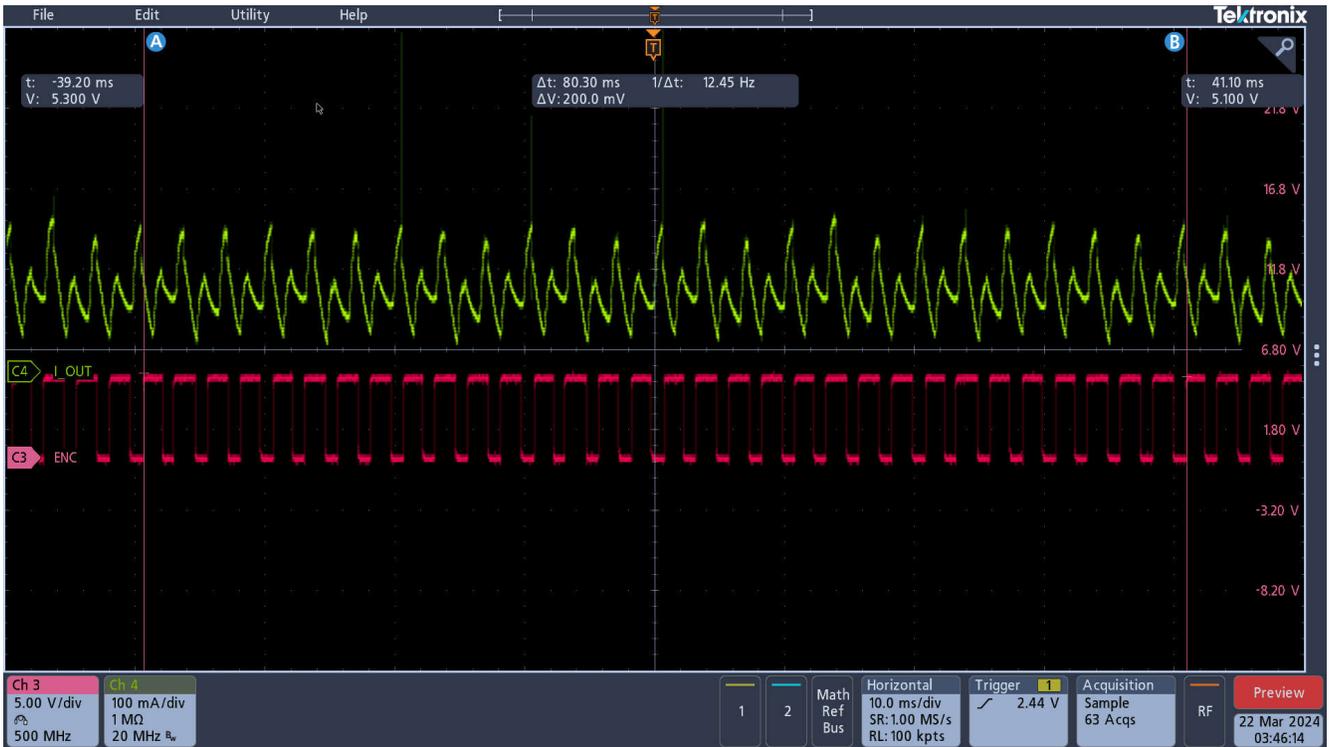


图 3-5. 使用编码器的实际电机转速

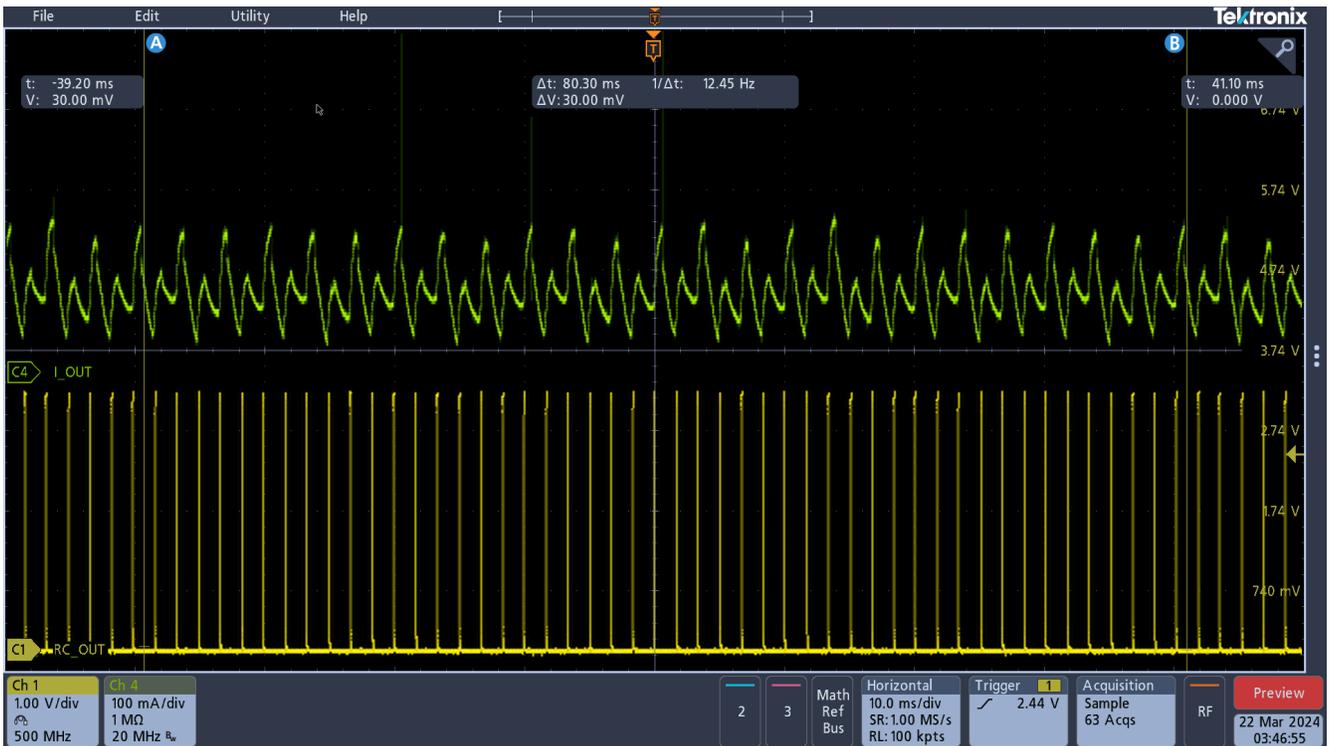


图 3-6. 使用 RC\_OUT 计算出的电机转速

### 3.3.2 软启动

为了防止出现节 3.3.1 中所述的高浪涌电流瞬态，DRV8214 和 DRV8234 具有软启动功能，可在速度和电压调节模式期间使电流斜升至预设值。图 1-1 展示了软启动期间的性能。



图 3-7. 软启动期间的性能

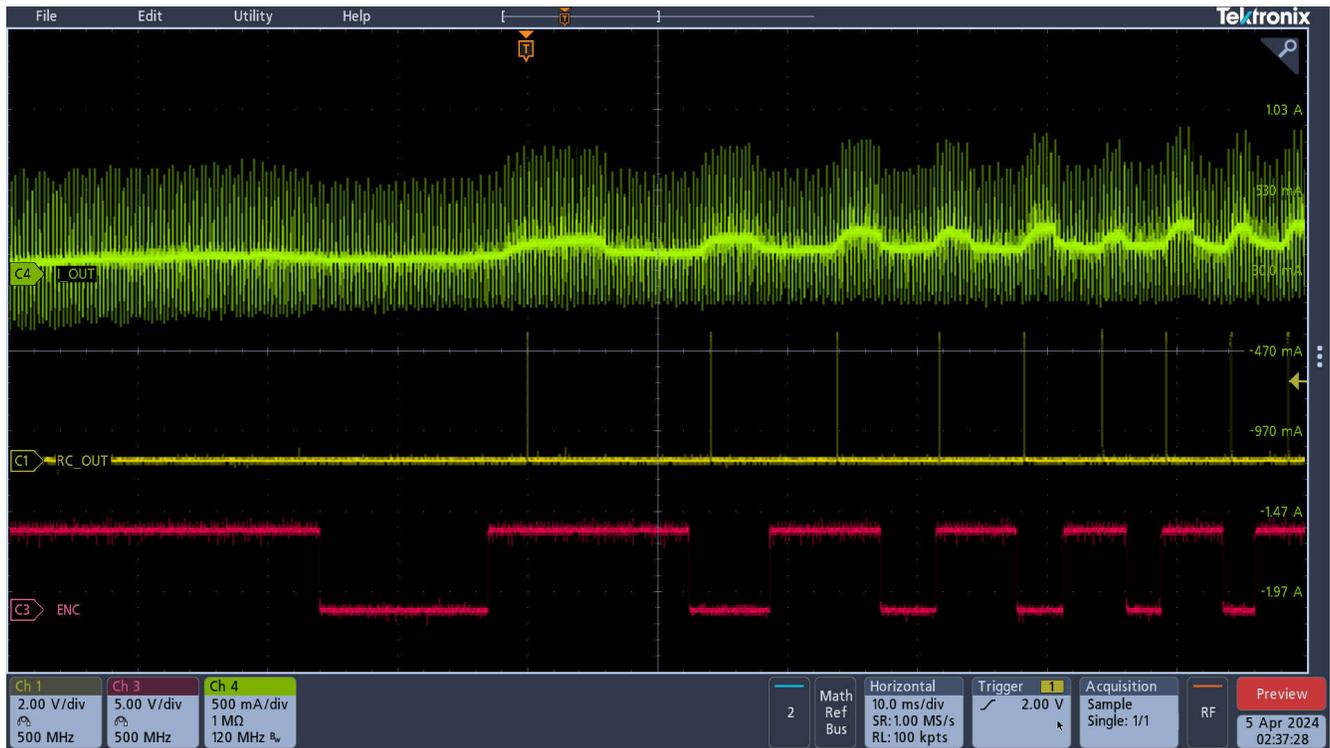


图 3-8. 软启动 - 已缩放

从图 1-1 中，我们可以看到软启动过程中的所有纹波都被精确跟踪。表 3-8 所示的精度计算验证了这一点。当电机完成 8 圈旋转时，由于电机电流值达到稳态，因此计数停止。

表 3-8. 软启动期间的精度

参数	软启动
编码器计数	32
RC_OUT 计数	48
精度	100%

### 3.3.3 负载条件

图 1-1 显示了各种负载条件下的稳态电流波形。观察到的满负载 ( 失速 ) 电流为 1.3A。电机负载为满负载电流值的 50%，例如 650mA。PWM 占空比为 100%。

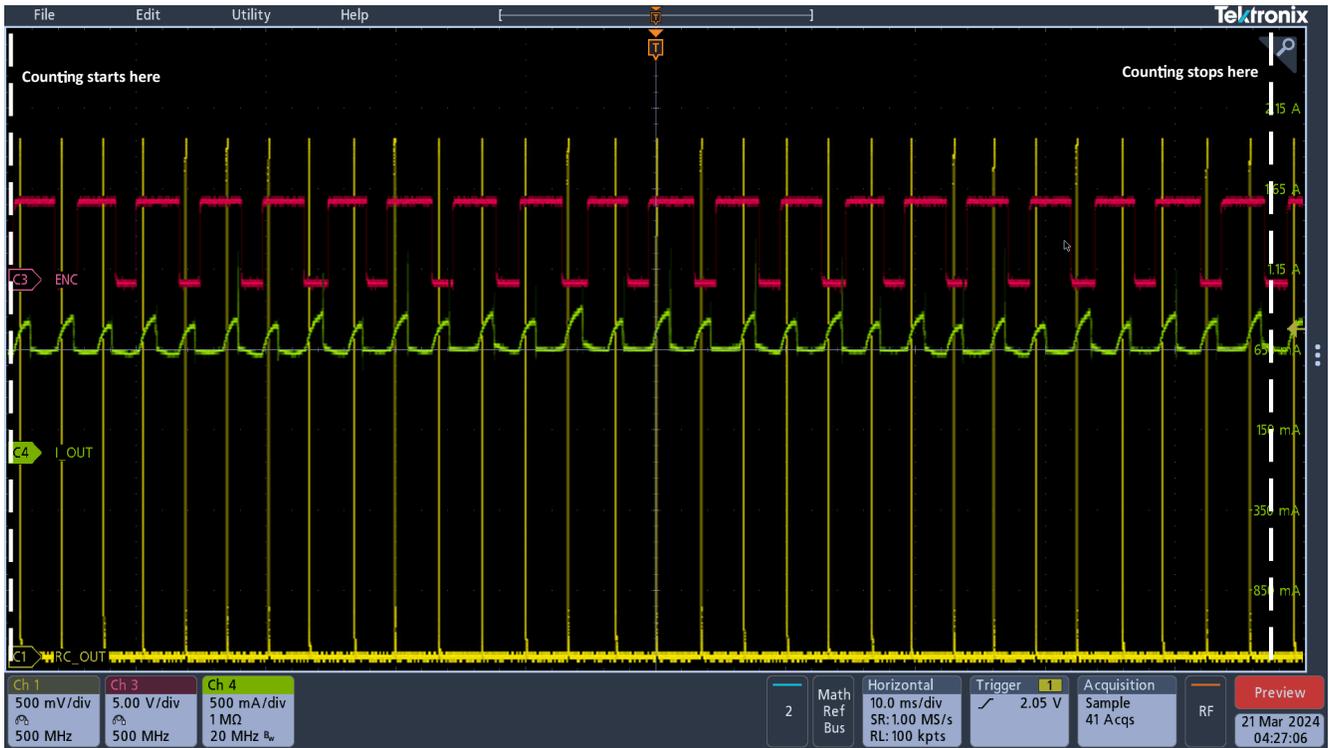


图 3-9. 50% 负载时的稳态性能

在稳态下旋转 5 圈并完成计数。精度计算如表 3-9 所示。

表 3-9. 50% 负载时的精度

参数	50% 负载
编码器计数	20
RC_OUT 计数	30
精度	100%

图 1-1 显示了纹波计数在瞬时加载期间的性能。在大约 80ms 内，负载从 10% 变化到 60%。对电机旋转 6 圈执行计数。

图 1-1 显示了纹波计数在卸载期间的性能。在大约 80ms 内，负载从 60% 变化到 10%。对电机旋转 6 圈执行计数。



图 3-10. 瞬态加载

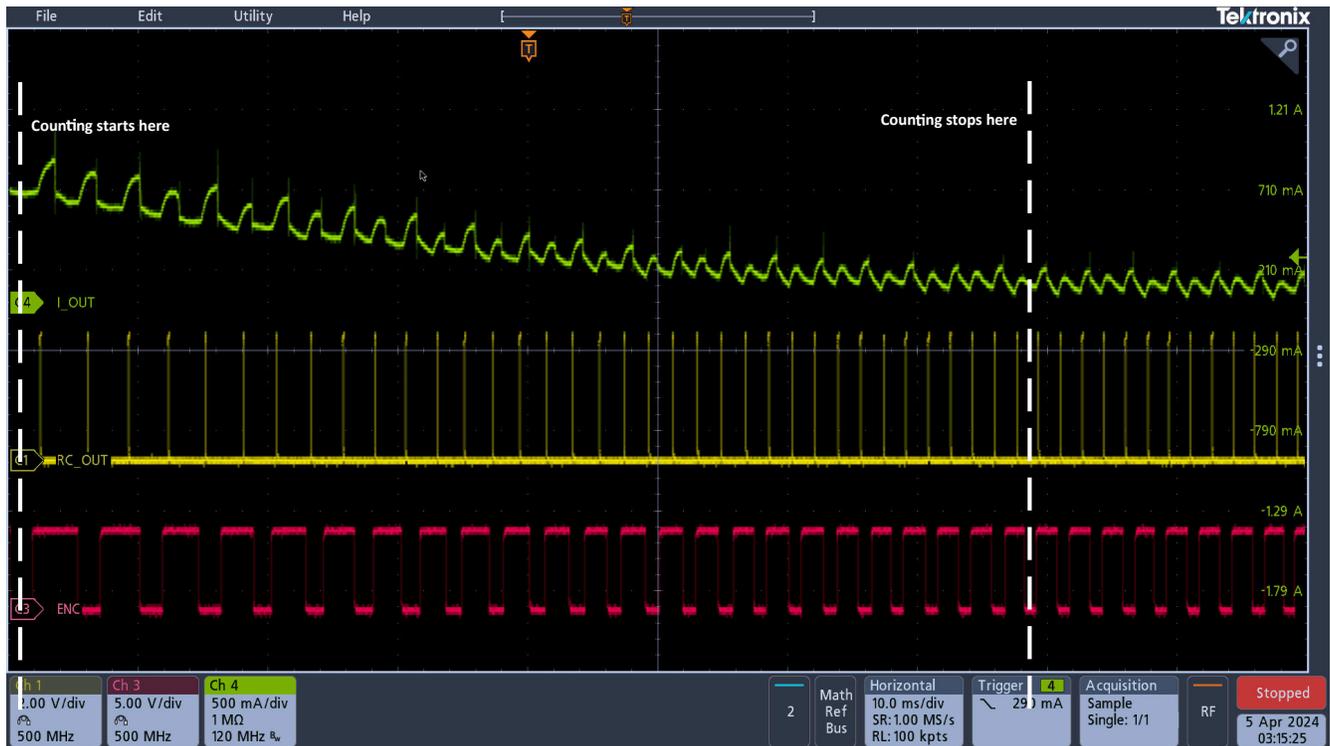


图 3-11. 瞬态卸载

表 3-10 显示了在这两种条件下的精度计算结果。

表 3-10. 瞬态条件下的精度

参数	瞬态加载	瞬态卸载
编码器计数	24	24
RC_OUT 计数	36	36
精度	100%	100%

## 4 挑战和权变措施

本节将介绍在遵循了调优过程之后 DRV8214 和 DRV8234 中的纹波计数算法仍然面临的一些挑战。此外，还将介绍更好地跟踪纹波并在每种情况下提高精度的权变措施。

### 4.1 平均电流过低

在过低的平均电流下运行时由于信噪比 (SNR) 降低而面临挑战。这种情况通常发生在：

1. PWM 期间低占空比较低时
2. 电机电流的直流分量值较低时

如图 1-1 所示，电机平均电流较低时，电流纹波会严重失真。器件无法区分噪声和电流纹波。对于扫地机器人滚轮电机示例，观察到该值为 90mA。波形是在 11V 电压下将 PWM 占空比设置为 30% 的情况下获得的。

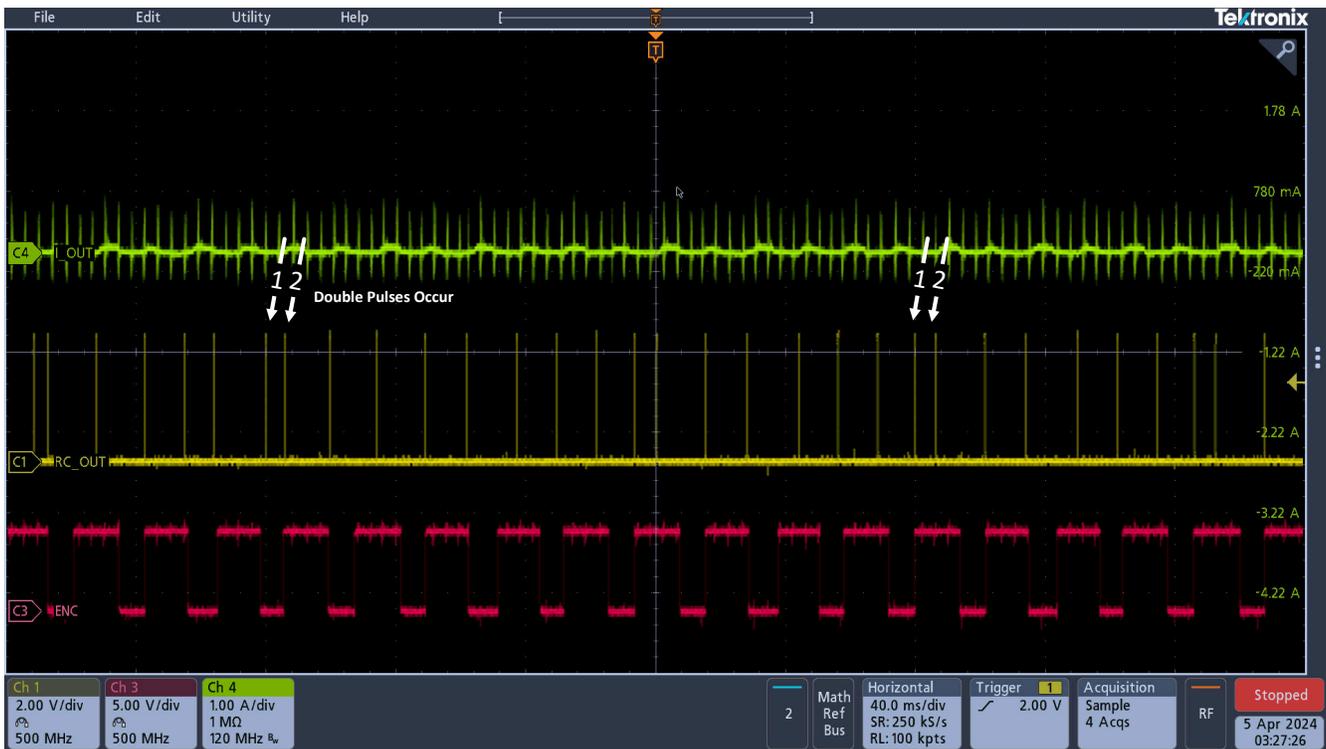


图 4-1. 低电流下的性能

下面列出了一些可能提高精度的解决方法：

1. 将 FLT\_GAIN\_SEL 设置为 11b 以利用整个信号范围。这有助于数字滤波器区分噪声和电流纹波。
2. 如果可能，降低电源电压并增加 PWM 占空比，使平均电流保持不变。这样可以改善电流纹波波形。
3. SPEED 寄存器值在调优过程中会波动，从而导致 KMC 错误。请调整 KMC 的值以检查性能是否得到改善。
4. 调整 EC\_FALSE\_PER 和 EC\_MISS\_PER 寄存器的值，了解调优是否有所改善。有关详细说明，请参阅 DRV8234 数据表。例如，图 1-1 展示了 EC\_FALSE\_PER = 10b 且 EC\_MISS\_PER = 10b (从默认值 01b 修改) 时的性能。表 4-1 计算了这种情况下的精度。

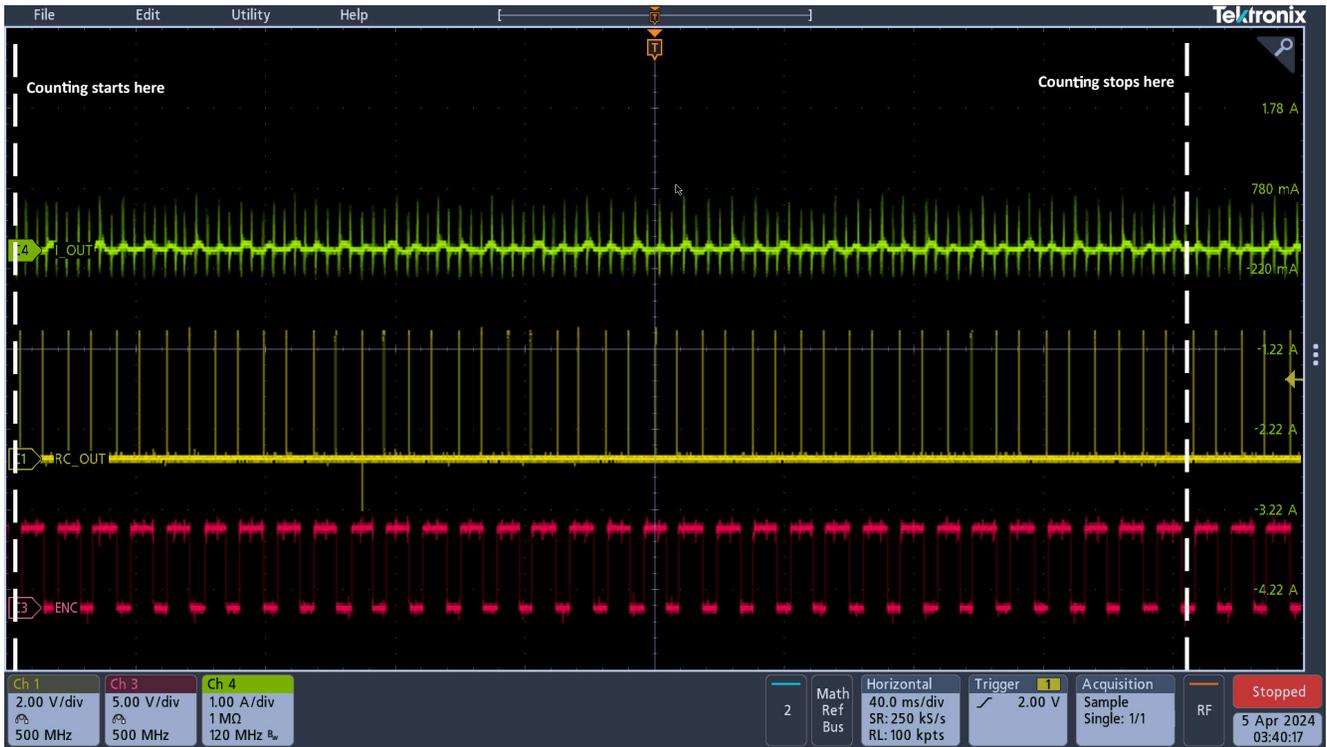


图 4-2. 调整误差校正器参数

- 重新调优 INV\_R、INV\_R\_SCALE、KMC 和 KMC\_SCALE 的值。请确保按照节 3.2.1 和节 3.2.2 中的说明调优这些寄存器。
- 如 DRV8234 数据表第 8.2.3.1.2.2.2 节所述，存在多对 KMC 和 KMC\_SCALE 调优值。选择另一个可能的值对。
- 设置 DIS\_EC = 1b 以关闭误差校正器。这样也会提高性能，如图 1-1 所示。



图 4-3. 误差校正器已关闭

表 4-1. 低电流期间提高精度

参数	30% 占空比	已调整误差校正器寄存器	误差校正器已关闭
编码器计数	16	32	32
RC_OUT 计数	28	48	49
精度	116% <sup>(1)</sup>	100%	102% <sup>(2)</sup>

- (1) 精度 > 100% 表示该算法计入了一些额外的纹波。用 100 减去精度可以计算出百分比误差。因此，以 30% 占空比运行并旋转 4 圈后的误差为 16%。  
 (2) 误差校正器关闭后的误差下降到 2%。

## 4.2 停止期间的电机惯性

在本例中，当流入电机的电流在高阻态模式或制动模式期间关闭时，RC\_OUT 引脚不会发出脉冲。由于存在惯性，电机在完全停止之前会继续旋转一段时间，在此期间无法检测到纹波。这是由于电流方向会发生变化，如图 1-1 所示。RC\_OUT 停止发出脉冲，但电机由于惯性继续旋转。

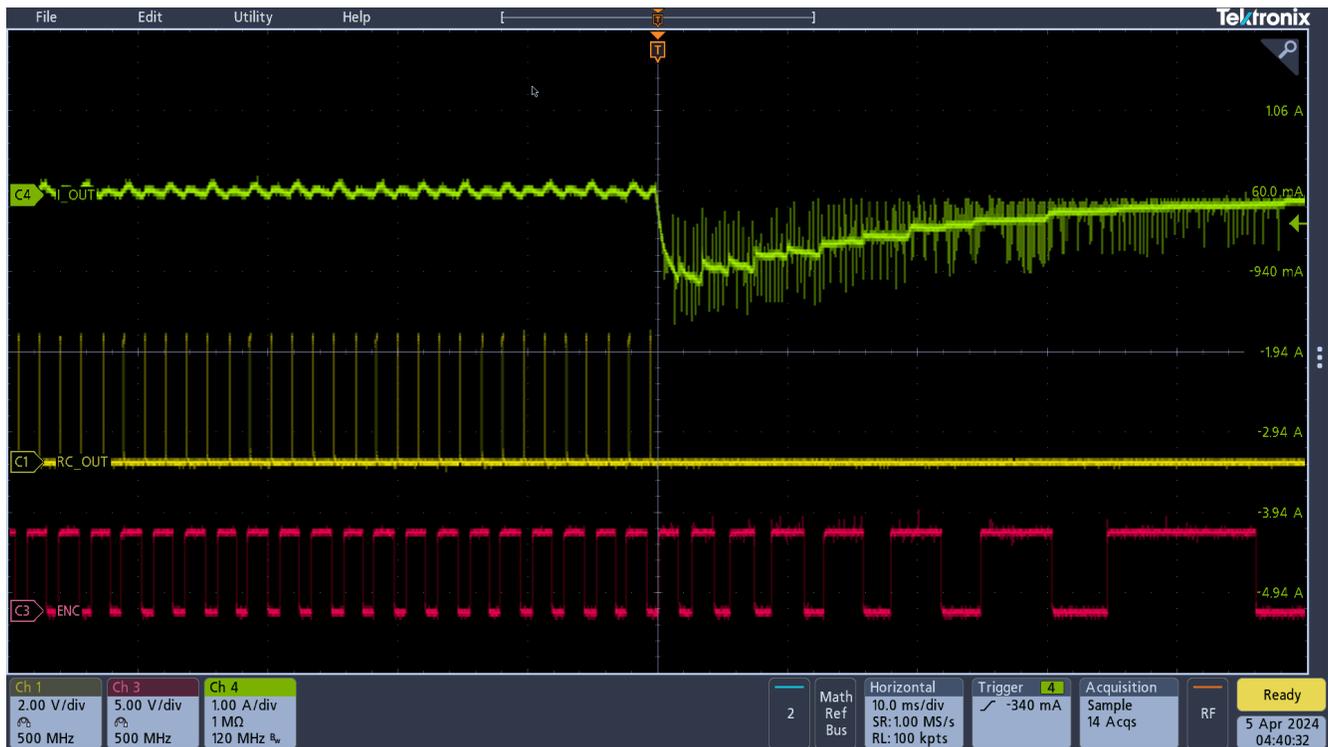


图 4-4. 正常停止期间 RC\_OUT 停止脉冲输出

针对这种情况的可能权变措施是使用软停止功能 (EN\_SS = 1b)。此功能使电机能够逐渐停止，从而可以在更长时间内检测纹波，进而降低漏掉纹波的几率。图 1-1 显示了纹波计数在软停止期间的性能。TINRUSH[15:8] (MSB) 设置为 0x08。

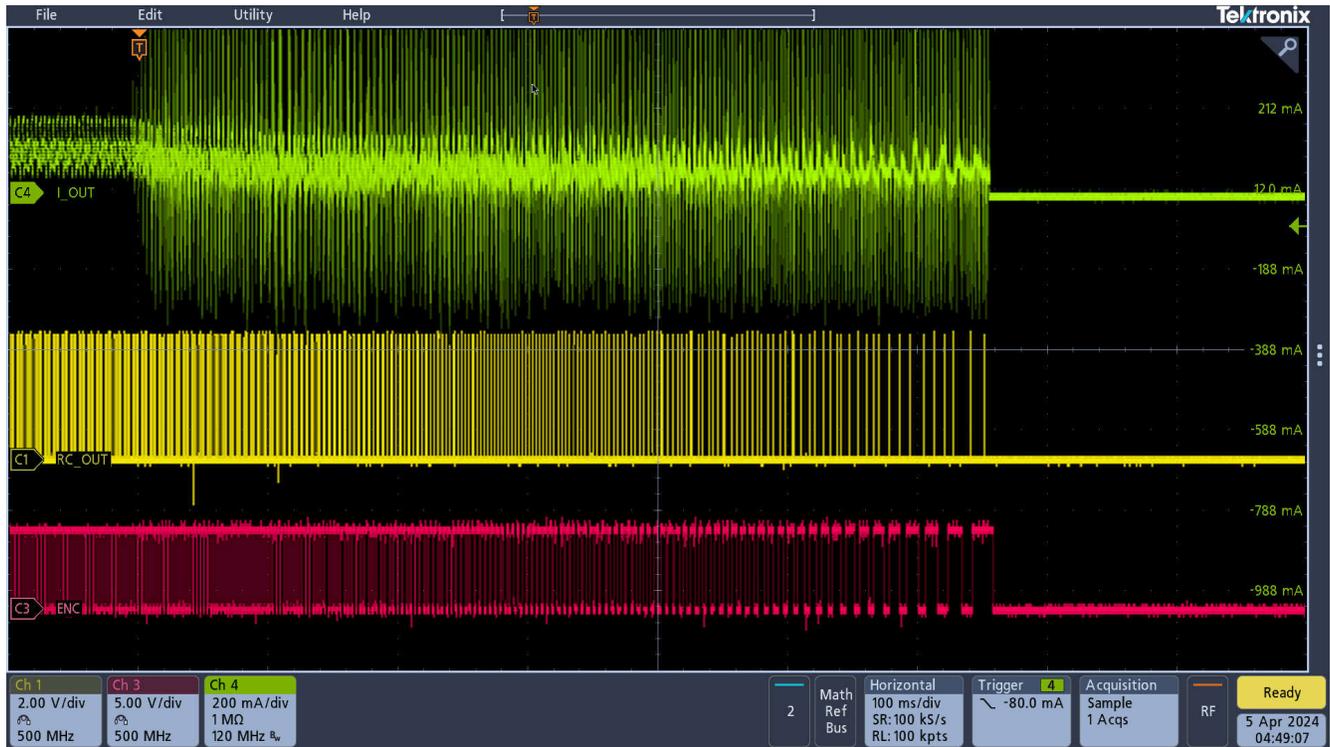


图 4-5. 软停止期间 RC\_OUT 跟踪脉冲

如 [DRV8214](#) 和 [DRV8234](#) 数据表中所述，软启动/停止功能仅在电机电压或速度调节期间激活。要在不调节速度的情况下使用软启动/停止功能，请执行以下步骤：

1. 将 REG\_CTRL 寄存器设置为 10b (速度调节模式)。
2. 将 W\_SCALE 设置为 11b (128rad/s)。
3. 将 WSET\_VSET 设置为 0xFF (255)。
4. 将 TINRUSH 设置为适当的值。

此过程会将速度基准值设置为尽可能高的值 ( $255 \times 128 \text{ rad/s} = 32640 \text{ rad/s}$ )。由于在特定电压电平下占空比的上限为 100%，这实际上意味着器件无法调节速度，因此可以在不调节速度或电压的情况下使用软启动/停止功能。如果是在外部进行 PWM，为了模拟软停止行为，可对占空比进行编程以逐渐降低到 0。

### 4.3 浪涌

本例将介绍针对电机启动期间因浪涌电流 (如 [图 1-1](#) 所示) 而漏掉的纹波可以采取的权变措施。

1. 调整 T\_MECH\_FLT 寄存器以便更准确地匹配系统响应时间 (如 [图 1-1](#) 所示)。这种情况下的代价是在稳态性能期间会牺牲一定的精度。
2. 在浪涌时间内使用电流调节还有助于算法更准确地跟踪纹波。
3. 如果使用内部速度或电压调节功能，请启用软启动和软停止 (EN\_SS = 1b)。
4. 如果使用 [DRV8214](#)，请对控制器进行编程，以便在 [DRV8214](#) 中需要加载/卸载时动态更改 CS\_GAIN\_SEL。更多有关 CS\_GAIN\_SEL 功能的详细信息，请参阅数据表。
5. 在相同的工作条件和设置下，器件每次都会漏掉相同数量的纹波。如 [图 1-1](#)、[图 1-1](#)、[图 1-1](#) 和 [图 1-1](#) 所示，在每次启动期间，器件会漏掉 4 个波峰。只需从目标纹波计数中减去漏掉的漏纹波即可轻松解决该问题。对控制单元进行编程以偏移四个纹波能够提高位置跟踪精度进行。

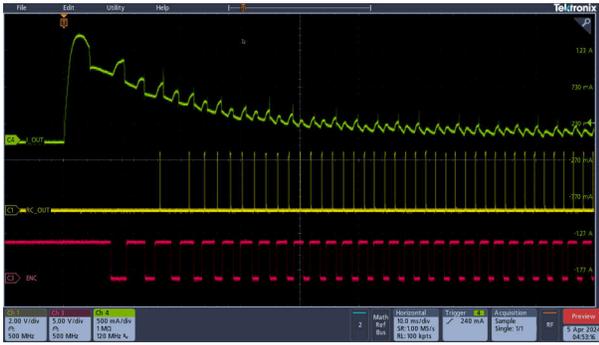


图 4-6. 浪涌 1

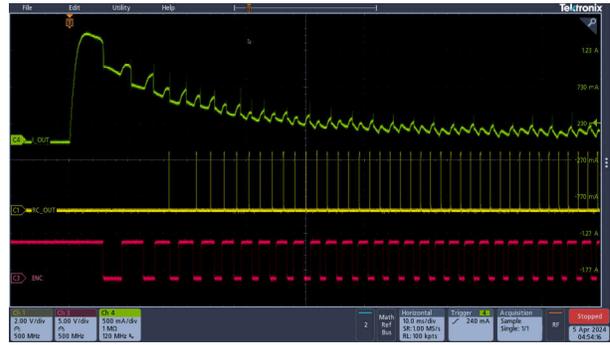


图 4-7. 浪涌 2

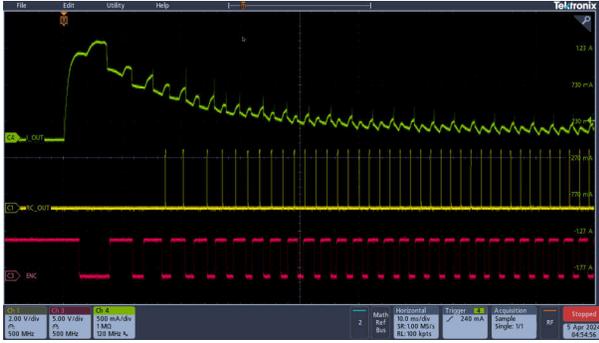


图 4-8. 浪涌 3

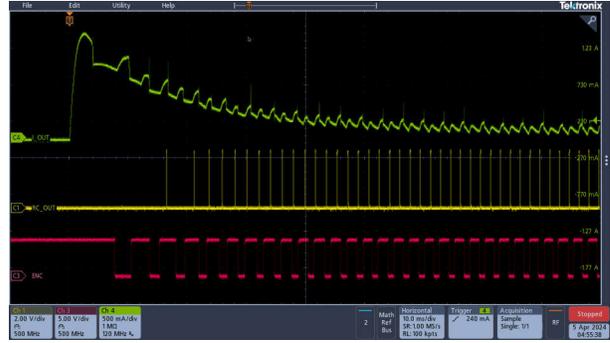


图 4-9. 浪涌 4

#### 4.4 高负载条件

在高负载扭矩条件下，纹波计数算法无法检测到一些电流纹波。在这些运行条件下，电机转速通常太慢，算法无法准确进行估算。此外，在如此低的速度下，电机电阻值中的任何误差都会使算法在实际速度估算中的误差成倍增加。解决方法是通过将 DIS\_EC 设置为 1b 来关闭误差校正器（如果已开启）。建议使用 IPROPI 引脚或 IMTR 寄存器对 MCU 进行编程，来检测电机电流。一旦电机电流值超过满负载（失速）电流的 50%，应关闭误差校正器。当电机电流值低于 50% 时，再次开启误差校正器。

精度计算如表 4-2 所示。

表 4-2. 高负载条件下的精度

参数	误差校正器开启			误差校正器关闭		
	50% 负载 (650mA)	60% 负载 (780mA)	70% 负载 (910mA)	50% 负载 (650mA)	60% 负载 (780mA)	70% 负载 (910mA)
编码器计数	40	32	20	40	32	20
RC_OUT 计数	60	36	15	60	48	30
精度	100%	75%	50%	100%	100%	100%

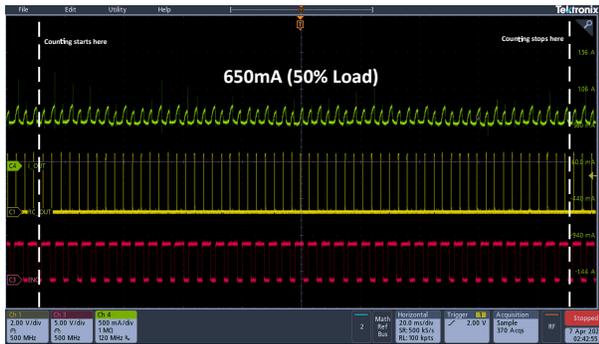


图 4-10. 误差校正器开启 (50% 负载)



图 4-11. 误差校正器关闭 (50% 负载)



图 4-12. 误差校正器开启 (60% 负载)



图 4-13. 误差校正器关闭 (60% 负载)



图 4-14. 误差校正器开启 (70% 负载)



图 4-15. 误差校正器关闭 (70% 负载)

## 5 总结

无传感器位置和速度控制解决方案可以节省用户成本并降低设计复杂性。该算法能够在宽电压范围内可靠检测各种应用中的位置和速度。本文档中的调优示例突出了精确调优参数的优势。但是仍然存在挑战，尤其是在低速情况下，因此需采取可行的解决方法。凭借该算法的稳健性和易用性，DRV8214 和 DRV8234 成为替代昂贵的位置和速度传感器的理想选择。

## 6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [DRV821x DRV823x EVM GUI](#)
- 德州仪器 (TI), [DRV8214 具有纹波计数、失速检测和速度调节功能的 2A 有刷直流电机驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [DRV8234 具有纹波计数、失速检测和速度调节功能的 2A 有刷直流电机驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [用于无传感器位置测量的汽车有刷电机纹波计数器参考设计](#) 参考指南。

## 7 修订历史记录

<b>Changes from Revision * (April 2024) to Revision A (May 2024)</b>	<b>Page</b>
• 通篇更新了表格、图和交叉参考的编号格式.....	<a href="#">1</a>
• 删除了电机器件型号为 <i>N216053E</i> .....	<a href="#">4</a>

## 重要声明和免责声明

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

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

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

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

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司