

Application Note

如何使用保持扭矩降低步进电机驱动器的功耗



Karan Doshi, Brian Wang

摘要

本应用手册介绍了使用德州仪器 (TI) 的**步进电机驱动器**降低功耗并提高系统热性能的几种方法。这个过程通过减少步进电机在保持模式下的电流消耗来实现。本文中提出了一种使用 **VREF** 降低技术的手动方法，并以 **DRV8818** 为例进行说明。随后还介绍了 **DRV8452** 和 **DRV8462** 等先进步进电机驱动器中的静止省电模式。

内容

1 引言.....	2
2 方法 A：手动降低 VREF.....	2
2.1 实验和结果.....	2
3 方法 B：静止省电模式.....	4
3.1 实验和结果.....	5
4 总结.....	7
5 参考资料.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

由于电机具有高电流，因此优化步进电机驱动器的功耗和散热非常重要。步进电机的电流形状取决于施加的电压、运行速度以及电机的电阻和电感等参数。通常，步进电机在 STEP/DIR 接口模式下工作，每个脉冲对应一个步进。为了提供足够的转矩来驱动负载、避免失速情况，并确保不会发生失步问题，每个步进中都需要进行适当的电流调节。因此，每个步进的电流调节都会以满量程电流的百分比来确定固定的电流值。为了从电机获得最大扭矩输出，步进电机需要以可能的最大电流值运行。该值可能受限于步进电机本身或数据表中指定的驱动器的最小过流保护 (OCP) 值。然而，在 PLC 和纺织业等领域应用中，紧凑密集型 PCB 上包含多个同时运行的电机驱动器 IC，这会带来热管理方面的挑战。

在许多终端应用中，步进电机无需持续运行。步进电机用于实现精确的位置控制，其中电机遵循旋转-停止-旋转模式。在停止状态下，电机不移动，处于保持位置。在此期间，电机只需很小的扭矩输出来保持位置。如果在此状态下降低电机电流值，器件的功耗将显著减少，同时系统的热性能也会得到改善。

2 方法 A：手动降低 VREF

在 DRV8818 等低成本步进驱动器中，电机电流正弦波中的峰值电流调节值 I_{TRIP} 通过以下公式计算得出：

$$I_{TRIP} = V_{REF} \times K \quad (1)$$

其中 K 是一个常数。例如，在 DRV8818 中，

$$I_{TRIP} = V_{REF} \times \frac{1}{8 \times R_{SENSE}} \quad (2)$$

其中， R_{SENSE} 为检测电阻值，单位为欧姆。这样便可以通过 VREF 引脚上的电压来手动控制每个步进的电流调节值。

2.1 实验和结果

实验室中使用 DRV8818EVM 和函数发生器建立了一个实验设置，其框图如图 2-1 所示。函数发生器用于向具有不同占空比的 VREF 引脚提供周期性电压信号。二极管用于防止反向电流从函数发生器流入 MCU。

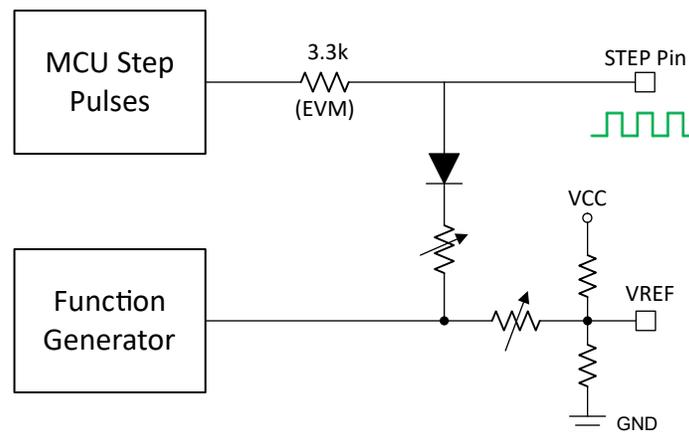


图 2-1. 手动降低 VREF 方法的方框图

表 2-1 总结了测试条件。图 2-2 中显示了结果的图形描述。请注意，100% 占空比是指步进电机以 VREF 设置的峰值电流值持续运行的情况。

表 2-1. 手动降低 VREF 方法的测试条件

参数	值
VM	24V
模式	混合衰减
速度	1000pps

表 2-1. 手动降低 VREF 方法的测试条件 (续)

参数	值
运行时	5 分钟

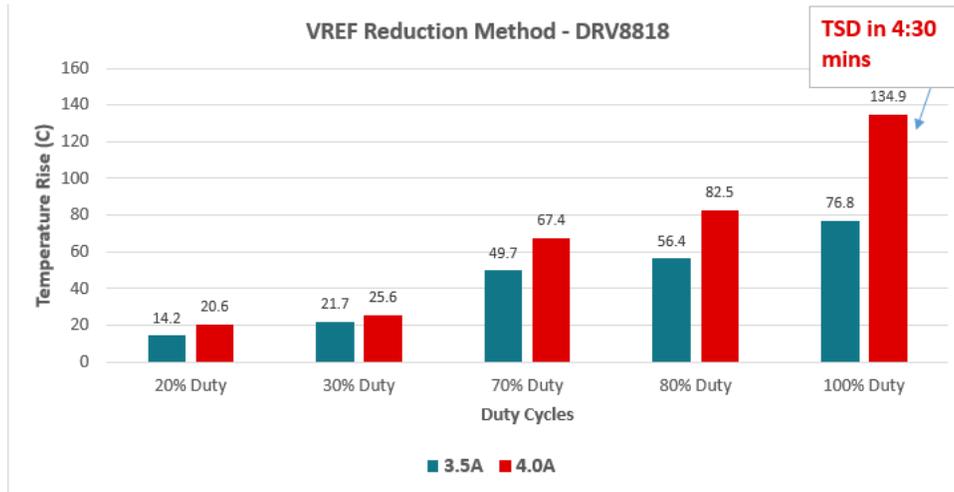


图 2-2. 在 PWM 模式下调节 VREF 时的温升

因此，手动降低 VREF 的方法可降低功耗并改善热性能。此外，该方法还允许在不达到热关断 (TSD) 温度值的情况下，增加电机的峰值调节电流值。

图 2-3 显示了一个示例波形，其中蓝色信号表示周期性 VREF 电压，绿色信号表示电机电流，而黄色信号则表示步进信号。



图 2-3. 示例波形

3 方法 B：静止省电模式

有多种方法可以调节每个步进处的调节电流值。如前所述，DRV8818 使用专用的 VREF 引脚并通过方程式 2 来计算峰值电流。为实现高精度，电机驱动器中的 VREF 引脚电压通常使用 MCU 中的缓冲 DAC 进行调节。

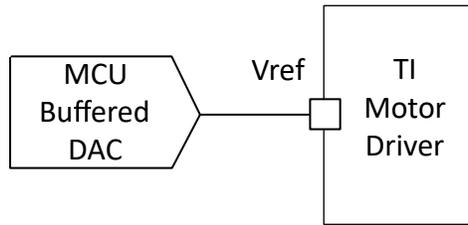


图 3-1. 使用 MCU DAC 进行 VREF 控制

然而，大多数低成本微控制器具有有限的缓冲 DAC 资源（通常只有一个），这使得驱动多个步进电机负载的成本较高。此外，在大多数用例中，通过 VREF 计算出的调节电流精度要求通常不会太高。例如，5% 的 VREF 或调节电流误差是可以接受的，不会显著影响性能。因此，使用低通 RC 滤波器来在 PWM 模式下调节 VREF 电压也是一个可行的方案。主流 MCU 通常提供 10 个以上的 PWM 通道，因此可通过单个 MCU 更轻松地控制多个电机驱动器的 VREF。

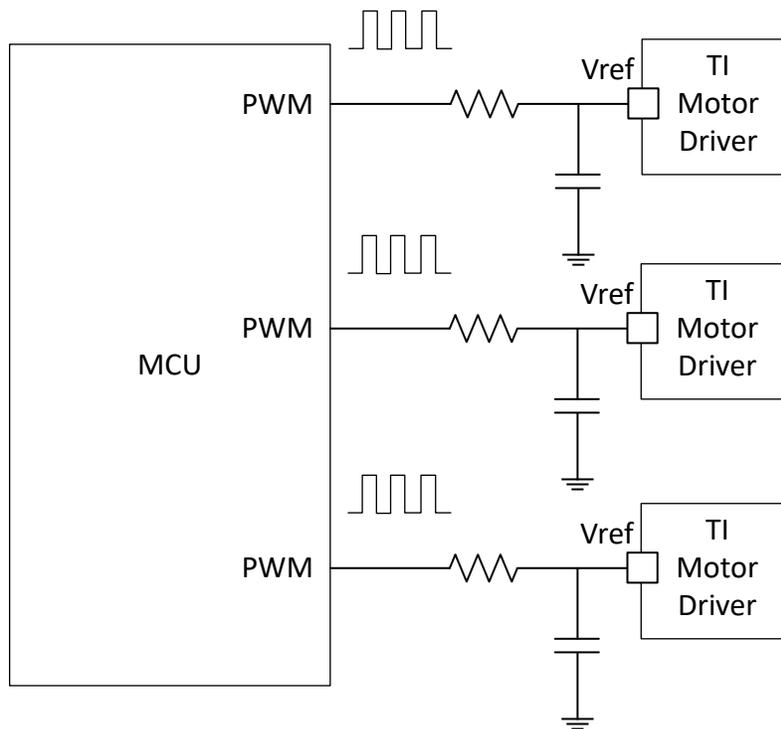


图 3-2. 使用 PWM 的 VREF 控制

作为进一步改进，德州仪器 (TI) 的高级电机驱动器系列 DRV8452 和 DRV8462 集成了静止省电功能。在此模式下，该器件会自动将调节电流降至保持电流值，从而降低功率损耗。这样就无需手动调节 VREF 引脚电压。

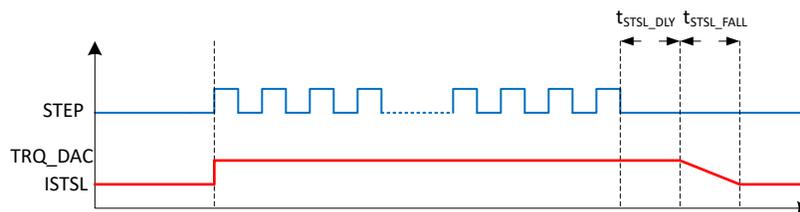


图 3-3. 静止省电方法

当控制器未发送任何步进脉冲且电机保持相同位置时，可将 DRV8452 和 DRV8462 配置为以静止省电模式运行。当通过向 EN_STSL 位写入 1b 来启用此模式时，可以通过将线圈电流从运行电流降低到保持电流来降低系统的功耗。

在最后一个 STEP 脉冲之后，该器件会等待一段由 TSTSL_DLY 寄存器编程的时间，之后线圈电流会在由 TSTSL_FALL 寄存器编程的时间段内从运行电流斜降至保持电流，如图 3-3 所示。该特性可用于通过控制器在较低的保持电流和较高的运行电流之间进行切换，从而在应用中步进电机长时间处于保持状态时降低功率损耗。STSL 标志会上升，以指示器件处于静止省电模式。一旦检测到下一个 STEP 脉冲，线圈电流会立即斜升至运行电流值。DRV8452 和 DRV8462 的数据表中介绍了 TSTSL_FALL 和 TSTSL_DLY 的可用选项。

运行电流由 TRQ_DAC 寄存器编程，保持电流由 ISTSL 寄存器编程。DRV8889-Q1、DRV8899-Q1 和 DRV8434S 等先进电机驱动器中集成了扭矩 DAC，允许主机 MCU 通过 SPI 接口调节电机驱动器电流。用户可以通过调整 TRQ_DAC 寄存器来调节输出电流，以 % 表示。满量程调节电流可使用以下公式计算得出：

$$I_{FS} = V_{REF} \times K \times TRQ_DAC(\%) \quad (3)$$

3.1 实验和结果

通过在 MCU 不发送步进脉冲时将 EN_STSL 设置为 1b，可以将 DRV8452 和 DRV8462 配置为以静止省电 (SPS) 模式运行。通过将线圈电流从运行电流降至保持电流值，可以降低功率损耗。有关如何配置器件以实现节能的更多详细信息，请参阅 [DRV8462：可实现高效率和无噪声运行的 65V、5-10A 步进电机驱动器](#) 数据表中的“静止省电模式”部分。

我们使用 DRV8462EVM 进行了一项实验，比较了采用和不采用静止省电模式时步进电机的运行情况。表 3-1 中列出了测试条件。

表 3-1. 静止省电方法的测试条件

参数	值
VM	24V
微步进	1/16
ITRIP	2A
运行时间	250ms
静止时间	100ms
保持电流	运行电流的 20%

以下几个图显示了禁用和启用 SPS 模式时的波形和热像仪图像。在热像仪图像中，左侧显示初始温度，而右侧显示最终温度。表 3-2 中汇总了温差结果。

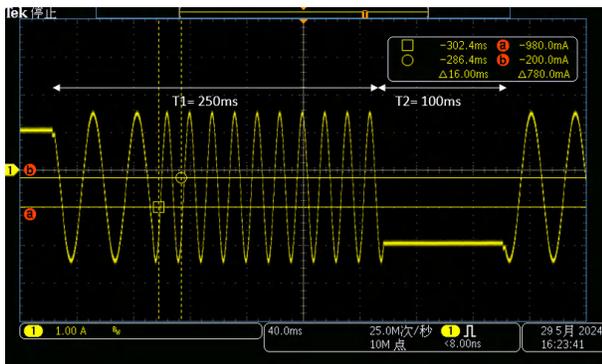


图 3-4. 静止省电模式已禁用

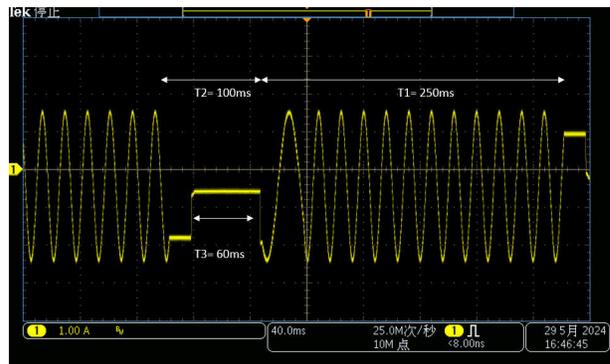


图 3-5. 静止省电模式已启用



图 3-6. 电机中的温差 - SPS 模式已禁用

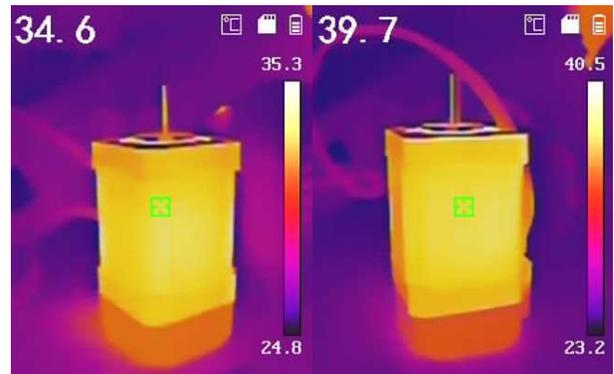


图 3-7. 电机中的温差 - SPS 模式已启用

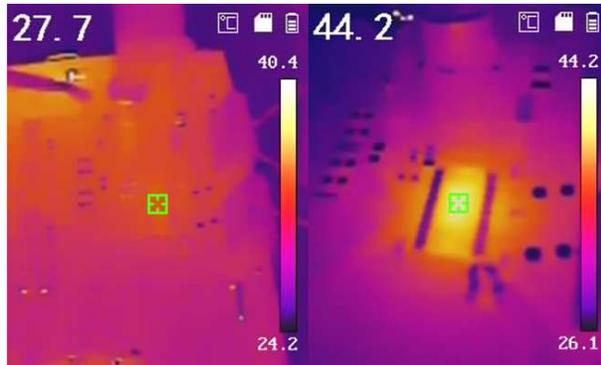


图 3-8. IC 中的温差 - SPS 模式已禁用

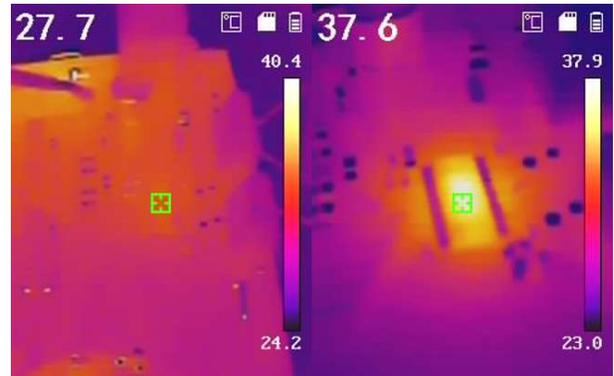


图 3-9. IC 中的温差 - SPS 模式已启用

表 3-2. 静止省电模式散热优势

静止省电模式	禁用	启用
电机温差	18.4°C	5.1°C
IC 温差	16.5°C	9.9°C

4 总结

降低步进电机驱动器功耗的方法之一是利用电机的保持扭矩。在简单的驱动器中，这可以通过使用 VREF 降低技术在 *保持模式* 下降低调节电流来实现。而在 DRV8452 等先进步进驱动器中，这可通过启用内置静止省电功能来实现。结果表明，使用这些方法可以显著改善热性能。降低的温度还允许驱动器承载超过满量程值的电流。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [DRV8818 具有电流调节功能和 1/8 微步进的 35V、2.5A 双极步进电机驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [DRV8452 具有智能调优、失速检测和自动扭矩功能的 50V、5A 双路 H 桥步进电机驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [DRV8462 具有智能调优、失速检测和自动扭矩功能的 65V、10A 双路 H 桥步进电机驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [DRV8818 评估模块](#)。
- 德州仪器 (TI), [DRV8462 评估模块](#)。

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