

Sudhir Nagaraj

摘要

智能衰减方案可通过不断调整来提供更好的衰减解决方案

传统的衰减方案（例如快速衰减、慢速衰减和固定混合衰减）无法实现更出色的微步进电流调节，因而无法处理电流斩波步进电机驱动器中的再循环电流。最终用户往往会对某些微步进性能参数进行折衷处理以实现其它性能参数。如果不进行折衷处理，又会如何呢？

此白皮书介绍了一种智能衰减方案，该方案可根据需求不断进行调整，从而实现更出色的衰减解决方案。此特性现在可集成到电机驱动器的集成电路 (IC) 中，终端用户因而无需对电机进行调优。

内容

1 商标.....	1
2 步进电机：简单概述.....	2
3 什么是衰减？.....	3
4 问题说明.....	5
5 问题解决方案.....	6
6 优势.....	7
7 结论.....	10
8 参考文献.....	11

1 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

2 步进电机：简单概述

步进电机的使用无处不在。它们广泛用于各种应用，包括机器人、打印机、工业位置控制、投影仪、摄像机等。

步进电机通常有两个电气绕组。H 桥用于驱动每个绕组。通过调节电机绕组中的电流来控制电机位置。为了实现平滑的电机运动曲线和更精细的位置控制，需要采取微步进方法。微步进过程中，这些绕组中的电流以正弦（红色）和余弦（蓝色）函数进行调节（参见图 2-1）。每个阶跃都对应于一个预设的电流电平。非衰减方案不能获得良好的微步进效果，这会转化为较差的电机位置控制。

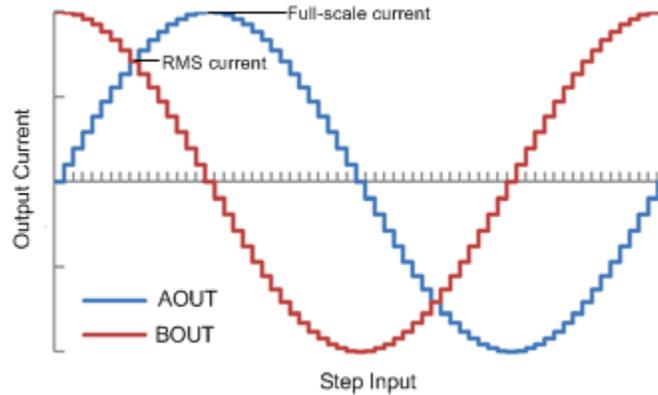


图 2-1. 微步进的正弦和余弦函数

3 什么是衰减？

衰减定义为驱动中断（这在脉宽调制 (PWM) 电流调节/斩波技术中很常见）后驱动开关和二极管中的再循环电流。通常，在达到斩波电流阈值后，驱动电流会被中断。为了处理此种衰减电流，H 桥可在两种不同的状态下运行：快速衰减和慢速衰减。还可采用混合衰减（慢速衰减和快速衰减的组合）。图 3-1 中显示了正电流的这些状态。

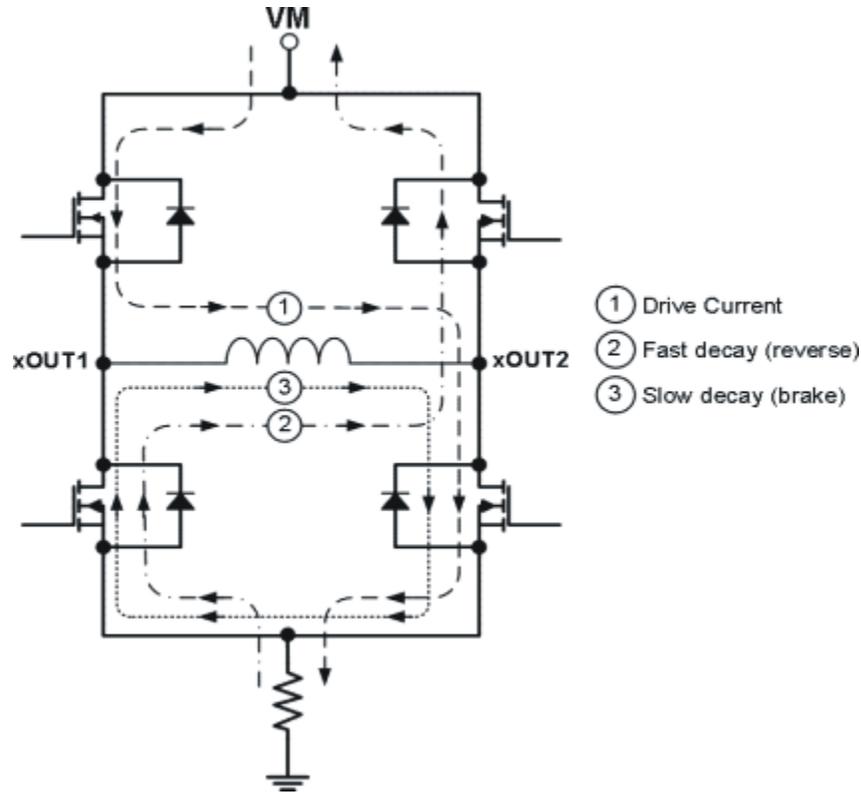


图 3-1. 微步进的正弦和余弦函数

图 3-2 中描绘了典型的 PWM 周期和事件序列（以时间为单位），下文介绍了此图中的各种衰减模式。

在慢速衰减模式下，使用两个低侧 FET 来实现电流的再循环。但是，绕组期间电流下降的斜率限制了一些被调节的电流电平。

在快速衰减模式下，H 桥会使绕组中的电压发生逆转。这会以更快的速率降低电流。快速衰减的限制之处在于当前的充电和放电速率相似；因此，纹波电流会很大。这会导致效率低下并限制了一些可调节的电流电平。

混合衰减是慢速衰减和快速衰减的组合。它从快速衰减开始，经过固定时间后，切换到慢速衰减模式。固定混合衰减也有其自身的局限性。需要针对给定的电机、步进速率、负载电流大小和电源电压优化 PWM 周期的百分比或慢速和快速衰减的组合。与较高的电流电平相比，较低的负载电流电平通常需要不同的百分比组合。

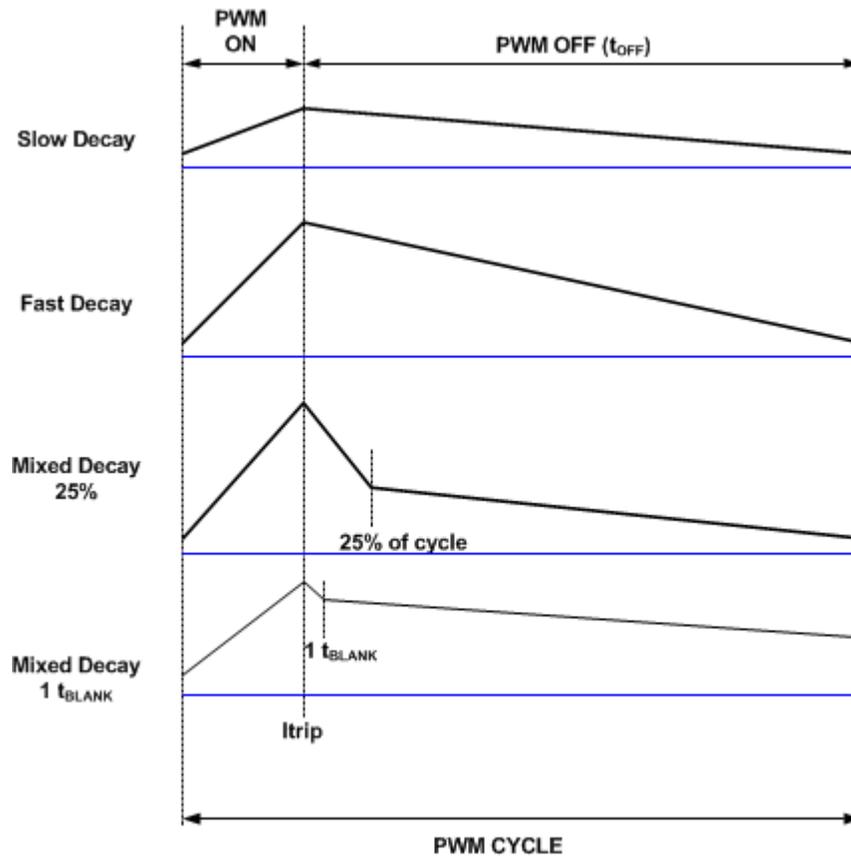


图 3-2. 慢速、快速和混合衰减模式下的电流波形

4 问题说明

传统的固定衰减方案（慢速、快速和混合衰减）有若干限制。一是无法精确调节电流，这会限制微步进分辨率。用户还需要调整传统的固定衰减，从而确定最有利的设置。最后，固定衰减不会根据电源电压、负载电流、反电动势 (BEMF) 和微步进率等变化的参数进行调整。

通常，通过循环遍历可用的固定衰减选项，同时观察示波器上的电流来选择更出色方案。

这很耗时，并且在选择更出色方案时仍然会要做出让步，例如：

- 优化快速步进速率（通过设置更高的混合衰减百分比）会导致电流调节过程中出现过度纹波（保持步进时）。
- 新电池的衰减方案可能与功率下降的电池不同。
- 与处理峰值电流相比，处理接近于零的电流时，优化衰减方案有很大不同。
- 为抵消反电动势 (BEMF) 效应而选择的激进衰减设置（混合衰减周期中较高的快速衰减百分比）会导致纹波过多，同时在大多数步进中调节电流。
- 初始调优衰减可能不适用于电阻式、报废电机。

在寻求处理衰减电流方面的改进时，仔细分析局限性可能会带来问题。对于不同级别的微步进电流，我们可采用不同的衰减方案吗？我们可将电流调节和阶跃变化的衰减方法分隔开吗？衰减方案能否随着负载变化、电源电压变化和 BEMF 变化而更改？让我们一探究竟。

5 问题解决方案

这些问题的答案是肯定的。建议的解决方案符合两个主要要求。

第一个是确定给定阶跃的指定电流调节水平的理想衰减。采用这种方法时，在电流调节期间，控制器会跟踪 **ltrip**（线圈电流达到目标电流时的信号）在给定 **PWM** 周期中发生的位置。它从内存中回忆上一个周期的“**ltrip** 事件和时间”，然后动态地决定当前周期需要什么样的衰减动作。

第二个方法是提供从一个阶跃到另一个阶跃的快速变换。作为对阶跃命令的响应，调高快速衰减的百分比可让我们在更短的时间内积极地达到一个新的层次，从而提供快速阶跃响应。

该解决方案已并入步进电机驱动器中，例如 **DRV8846** 或智能调优。它是一个全包式数字方案，用户无需进行任何调优。该解决方案可在任意给定情形下实现更出色的衰减设置。此衰减设置会根据参数（例如电流电平、步长更改、电源、**BEMF** 和负载）变化实时修改。

6 优势

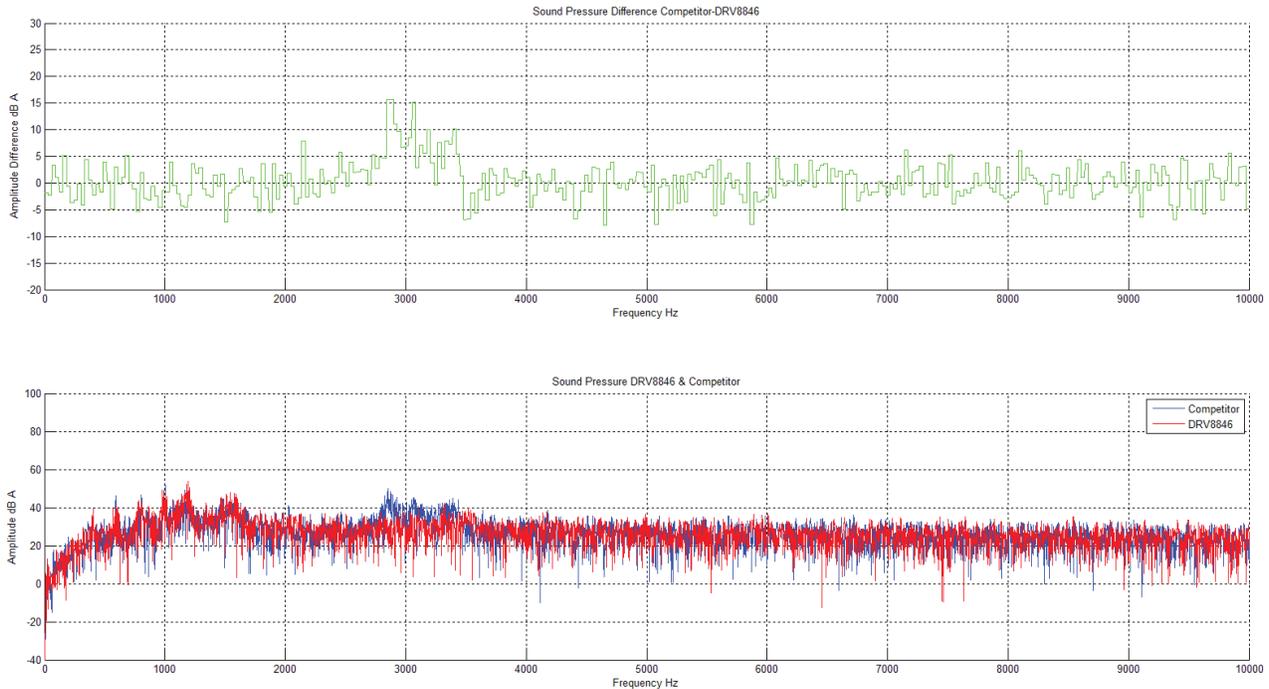


图 6-1. DRV8846 的噪声比同类竞争产品低 16.5%

此方法具有多项优势。自适应衰减方案不需要进行任何调优。此外，较小的纹波使平均电流更准确地达到峰值电流检测调节中所需的阶跃电流。这可实现更高级别的微步进，从而使步进电机的运动更平滑。较小的纹波还可降低电机和驱动电子设备中的噪声，如 [图 6-1](#) 所示

智能调优衰减方案可根据以下各项的变化自动调节：

1. 电源电压
2. 负载电感
3. 负载电阻
4. 步进电机中步进 BEMF 的速率
5. 要调节的电流的幅度（扭矩）。

这一切都不失波纹和步进性能。比如，[图 6-2](#) 展示了没有采用自适应衰减的电流波形。智能调优消除了 BEMF 引起的失真。[图 6-3](#) 所示为启动智能调优后的电流波形。

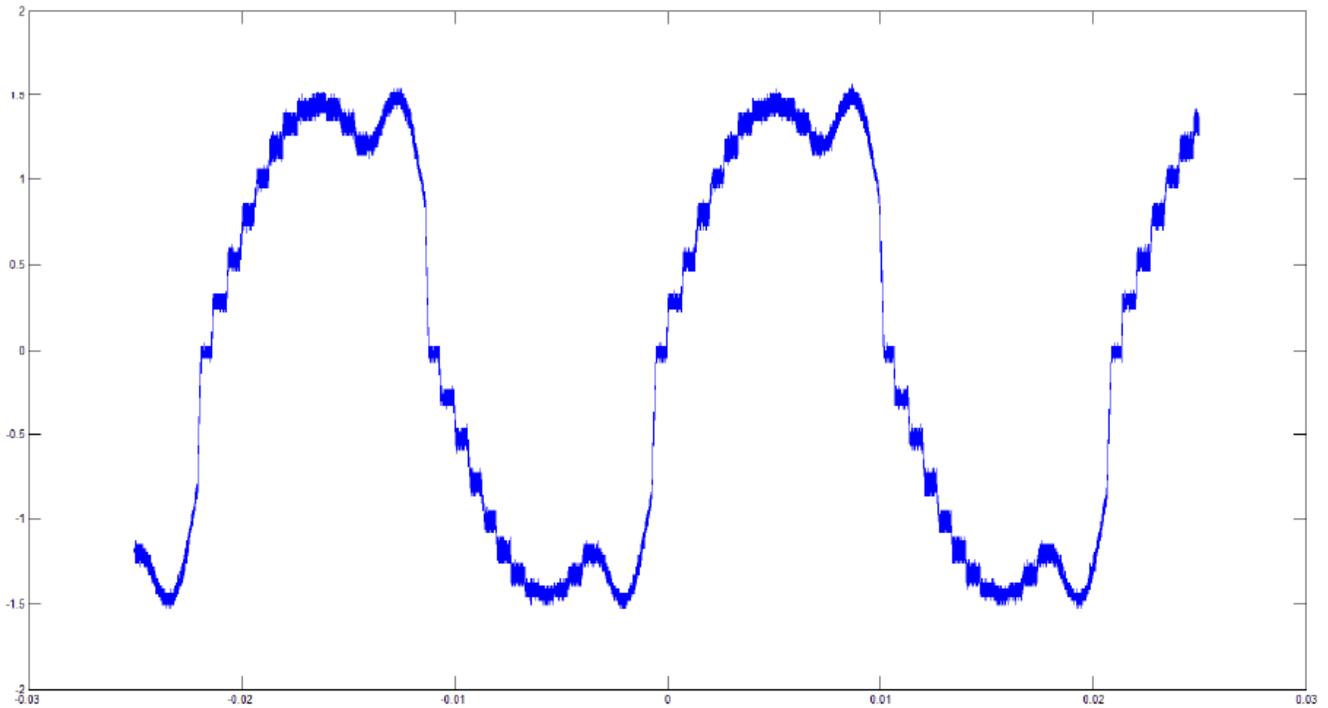


图 6-2. 显示存在 BEMF 时的电流调节损耗

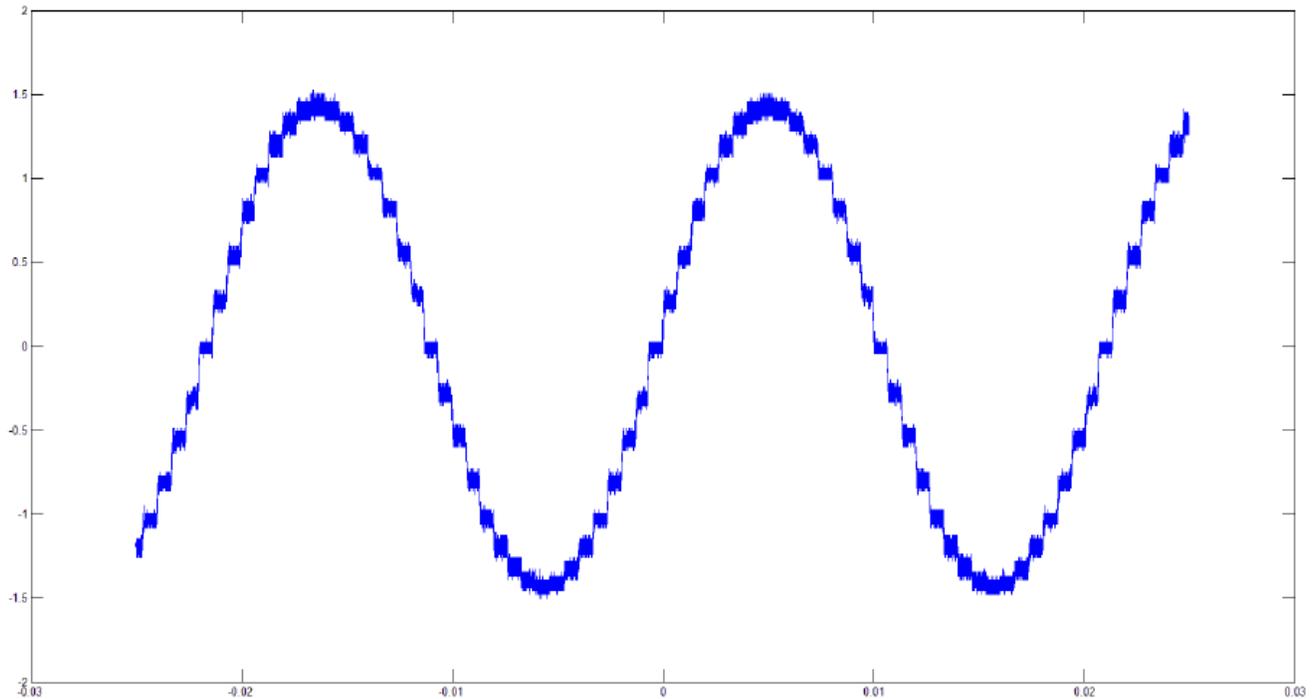


图 6-3. 此图表展示了配备自适应衰减功能的步进电机如何使 BEMF 变得轻松

采用该方案则无需使用器件引脚来设置传统固定衰减，从而降低了系统成本。与大多数传统衰减模式（图 6-4，左侧图）相比，此方案还可实现更快的阶跃转换或响应时间（图 6-4，右侧图），而不会在电流调节中产生过多纹波，同时保持两个相邻阶跃之间的步进。此示例提供大约快三倍的阶跃响应时间。

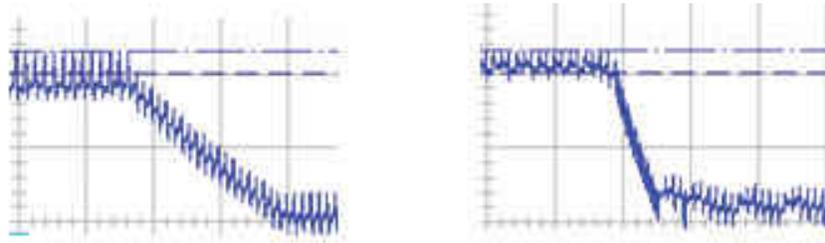


图 6-4. 固定衰减中的 600µs 步进转换和智能调优自适应衰减模式中的 200µs 转换

尽可能使用慢速衰减周期使自适应衰减方案更加节能。这是因为慢速衰减可最大限度地减少开关损耗，并且通常使用功率效率更高的低侧 FET 来完成。在

图 6-5 的图中，蓝色代表被调节的线圈中的电流。粉色和黄色是显示输出切换的 H 桥输出电压波形。粉红色尖峰表示快速/混合衰减的反向 FET 电压。右侧的图采用智能调优，即 TI 的自适应衰减特性。与左图中显示的固定混合衰减方案相比，它很少使用快速/混合衰减模式。这使得使用智能调优可实现高能效。

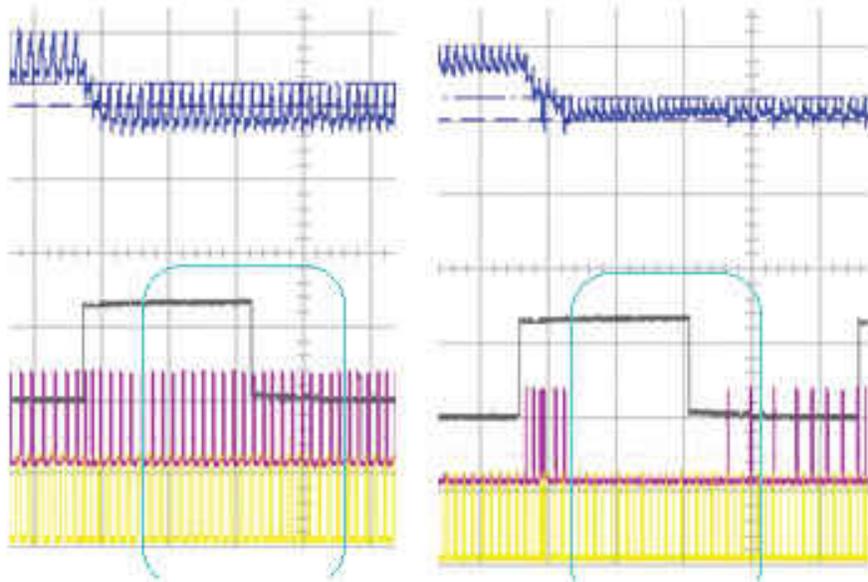


图 6-5. 固定混合衰减与智能调优

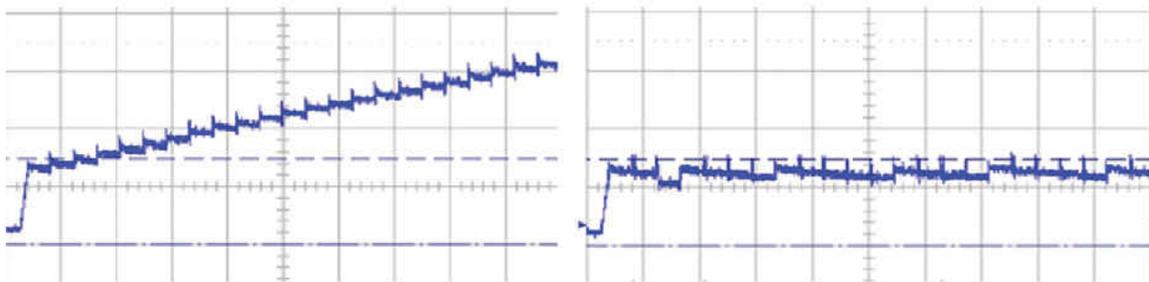


图 6-6. TI DRV8846 的固定慢速衰减模式和智能调优

这种自适应衰减方案改善了低电流调节（微步进正弦的近零交叉）性能。这是因为与慢速衰减类似，自适应衰减方案可在较低电流下实现低纹波。然而，它不会像慢速衰减那样导致调节损耗。

慢速衰减会导致调节损耗，因为在最短导通时间内建立的电流大小大于慢速衰减所减少的电流大小。由于电流路径/回路中的电压降，会发生慢速衰减。环路电流越小，电压降越小。因此，电流衰减量较小。

7 结论

自适应衰减方案（如 TI 的智能调优），有望成为电机电流调节设计中的未来衰减方案。这种即插即用解决方案可实现更好的电流调节和微步进性能。智能解决方案可在工作寿命内根据电源电压、负载电流、负载电感 BEMF 的变化和电机差异来跟踪和调整衰减，确保在任何给定情况下实现更出色的衰减。功率效率提升是另一项主要优势。不需要调优的更高性能有助于缩短上市时间。用户不再需要担心在途中必须解决衰减问题才能成功旋转电机。

8 参考文献

1. 《电流再循环和衰减模式》应用报告

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司