



摘要

由于家庭和办公室采用开放式布局设计，人们越来越需要电器具有更低的噪声，甚至很小的声学差异也会对可闻噪声造成重大影响。借助先进的实时控制技术，工程师可以在空气净化器、冰箱、风机、笔记本电脑风扇、微波炉、洗衣机和烘干机等应用中利用 BLDC 电机驱动器实现更出色的声学性能。本应用手册介绍了 TI 全新的无代码、无传感器控制、集成式 BLDC 电机驱动器如何能够实现业界出色的声学性能。MCF8316A 器件利用获得专利的精密自动死区时间补偿和 PWM 调制方案与场定向控制 (FOC) 换向技术，提供最优声学性能。MCT8316A 器件中采用的可变换向技术有助于减少与传统无传感器梯形控制换向相关的声学噪声。在本应用报告中，我们使用业界性能最佳的电机来对全新 MCF8316A 和 MCT8316A 器件系列产品的声学性能进行基准测试。

内容

1 引言	2
2 概念	3
2.1 利用无传感器场定向控制电机驱动器来优化声学性能 (MCF8316A)	3
2.2 利用无传感器梯形控制电机驱动器优化声学性能 (MCT8316A)	6
2.3 比较无传感器 FOC 电机驱动器 (MCF8316A) 和 180° 正弦电机驱动器 (DRV10987) 之间的声学性能	8
3 总结	9
4 参考文献	10

插图清单

图 2-1. 连续和非连续 PWM 调制相位电压	3
图 2-2. 相电流波形与 FFT - 非连续 PWM 调制	4
图 2-3. 相电流波形与 FFT - 连续 PWM 调制	4
图 2-4. 相电流波形与 FFT - 死区时间补偿禁用时	5
图 2-5. 相电流波形与 FFT - 死区时间补偿启用时	5
图 2-6. 采用 MCF8316A 时的可闻噪声比较	6
图 2-7. 相电流波形与 FFT - 120° 梯形换向	6
图 2-8. 相电流波形与 FFT - 150° 梯形换向	7
图 2-9. 120° 换向与 150° 换向之间的可闻噪声比较	8
图 2-10. MCF8316A 与 DRV10987 之间的可闻噪声比较	8

表格清单

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在电机驱动器应用中，噪音是指电机换向和谐波频率造成的可闻噪声。电机相电流中的任何失真都会造成可闻噪声。电机中的定子励磁会在可闻频率范围内产生机械谐振，进而导致出现可闻噪声。当电机以较低速度运行时，能够清楚地听到电机换向造成的噪音。在较高的电机频率下，气体或液体流动噪声会掩盖换向噪声。对于洗衣机、烘干机、空气净化器、真空吸尘器和笔记本电脑风扇等家居应用，提高声学性能非常重要。借助控制技术阻断噪声、对噪声进行整形或避免噪声，从而最大限度地减少可闻噪声。借助 MCF8316A 和 MCT8316A 器件，系统设计人员可以通过连续 PWM 调制、死区时间补偿和可变换向模式等控制技术最大限度地降低可闻噪声。

2 概念

2.1 利用无传感器场定向控制电机驱动器来优化声学性能 (MCF8316A)

通过配置 PWM 调制方案并启用死区时间补偿，可以优化 MCF8316A 的声学噪声。在本应用手册中，我们使用了空气净化器电机来优化 MCF8316A 的声学性能。

2.1.1 PWM 调制方案

MCF8316 器件支持连续与非连续空间矢量 PWM 调制方案。在连续 PWM 调制中，所有三个相位都会同时按照定义的开关频率进行脉宽调制。在非连续 PWM 调制中，其中一个相位会在 120° 电气周期内钳位至地，而另外两个相位会进行脉宽调制。图 2-1 展示了不同调制方案中调制后的平均相位电压。

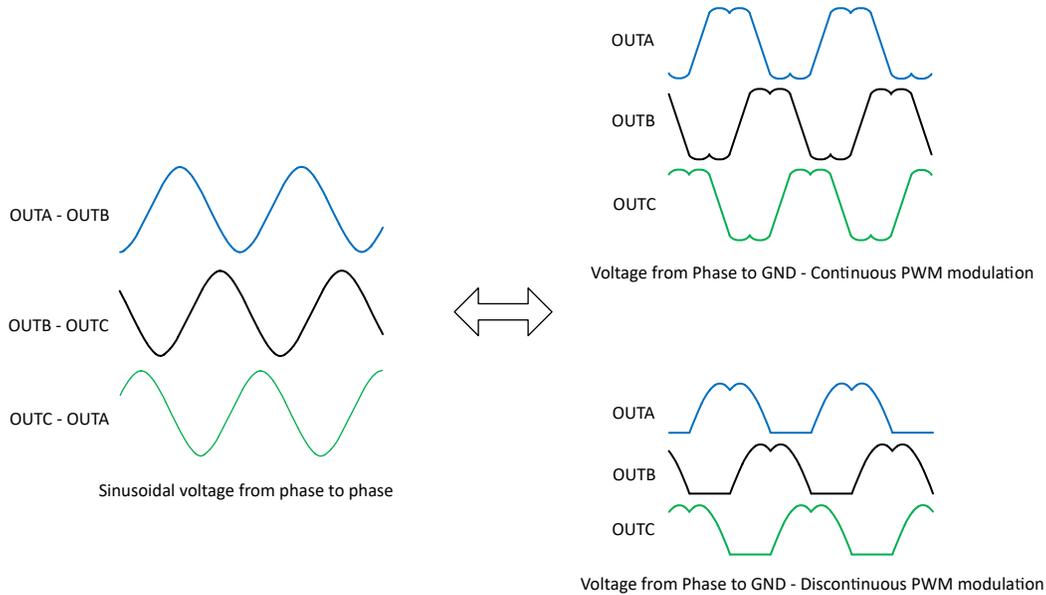


图 2-1. 连续和非连续 PWM 调制相位电压

在连续空间矢量调制方案中，相电流波形整形将为正弦形状且没有失真。在非连续空间矢量调制方案中，低电感电机预计会存在相电流失真，因为只有两个相位会进行脉宽调制。图 2-2 展示了非连续 PWM 调制模式下的相电流波形与相电流快速傅里叶变换 (FFT)。图 2-3 展示了连续 PWM 调制模式下的相电流波形与相电流 FFT。与非连续调制模式中的相电流波形相比，连续调制模式中的相电流波形会更加干净，也更像正弦形状。

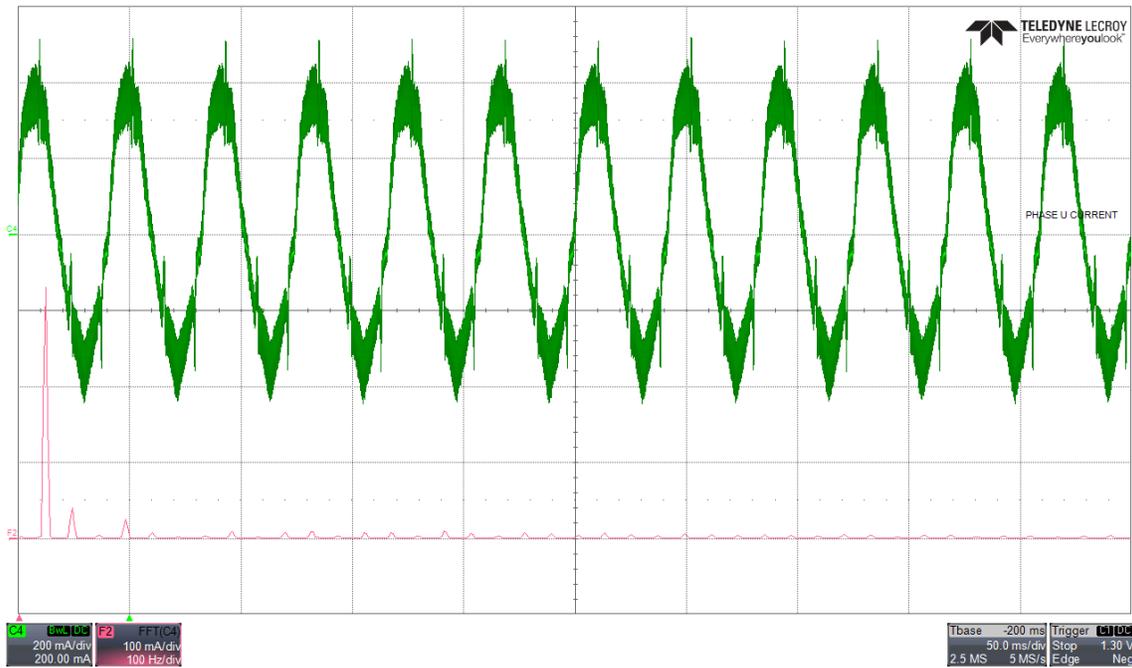


图 2-2. 相电流波形与 FFT - 非连续 PWM 调制

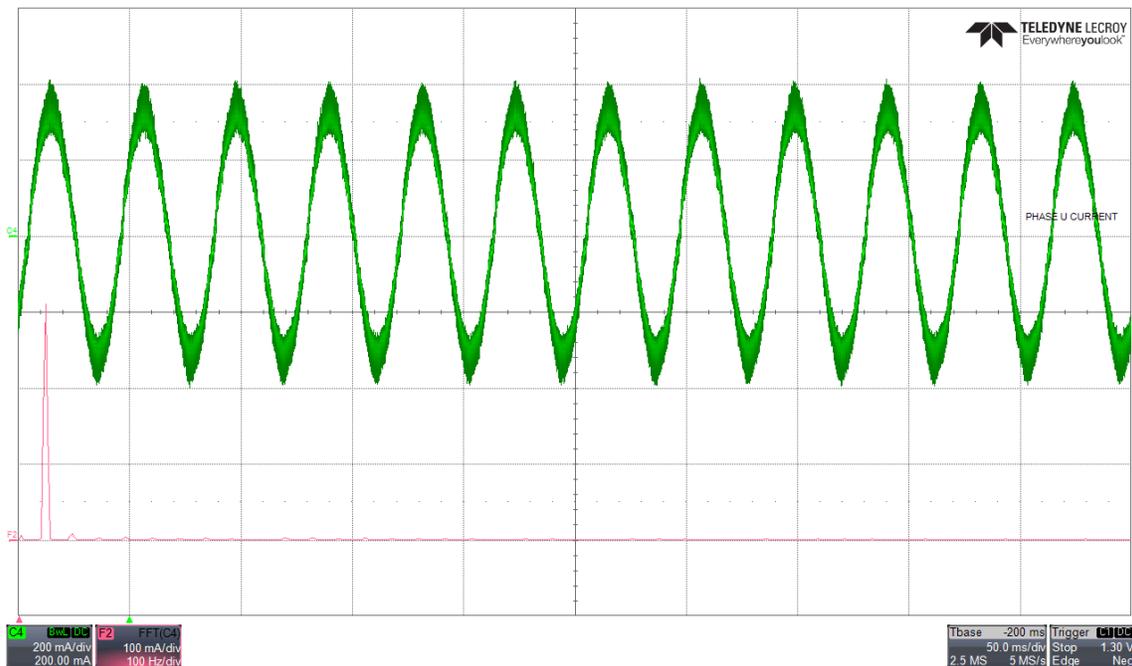


图 2-3. 相电流波形与 FFT - 连续 PWM 调制

2.1.2 死区时间补偿

在半桥桥臂上，高侧和低侧 MOSFET 的开关瞬间之间会存在死区时间，以避免发生电流击穿。由于存在死区时间插入，相节点上的预期电压与施加的电压会因相电流方向而异。相节点电压失真会在相电流中引入不必要的失真，进而导致可闻噪声。MCF8316 器件集成了专有死区时间补偿技术，利用谐振控制器将相电流中的谐波分量控制为零，从而确保缓解死区时间导致的电流失真。Iq 和 Id 控制路径中都包含谐波控制器。图 2-4 展示了禁用死区时间补偿时的相电流波形与相电流 FFT。图 2-5 展示了启用死区时间补偿时的相电流波形与相电流 FFT。在以下图片中，PWM 输出频率设为 60 kHz，死区时间设为 500 ns。电机频率为 12 Hz。如图中电流波形的 FFT 所示（信号以粉色显示），在启用死区补偿后，相电流波形变得更加干净。

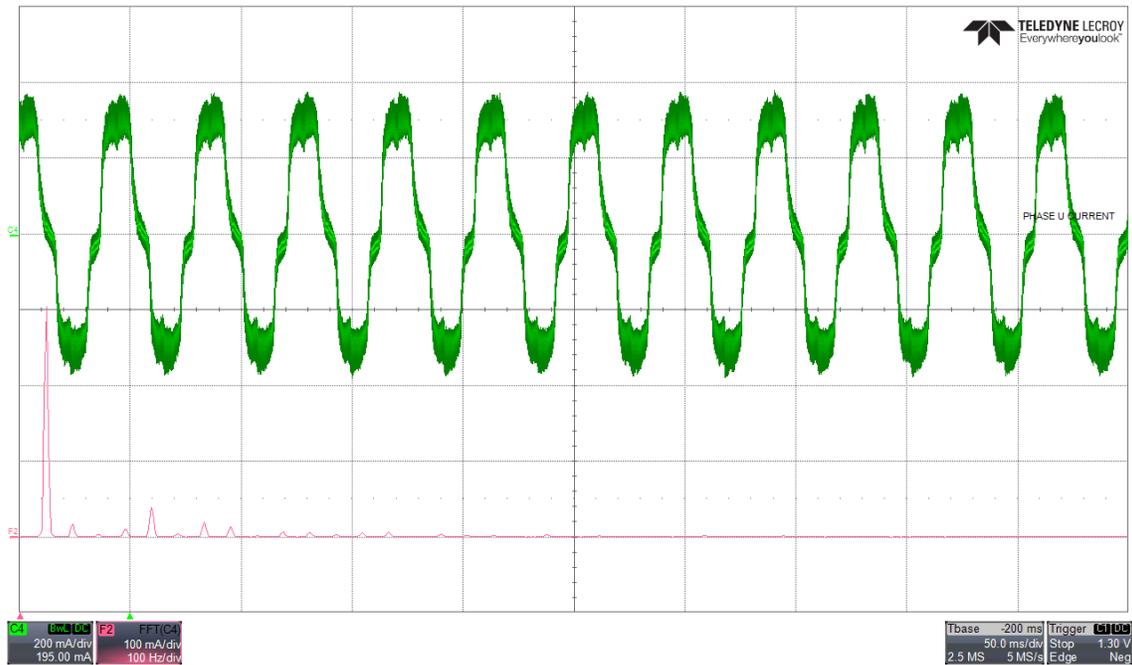


图 2-4. 相电流波形与 FFT - 死区时间补偿禁用时

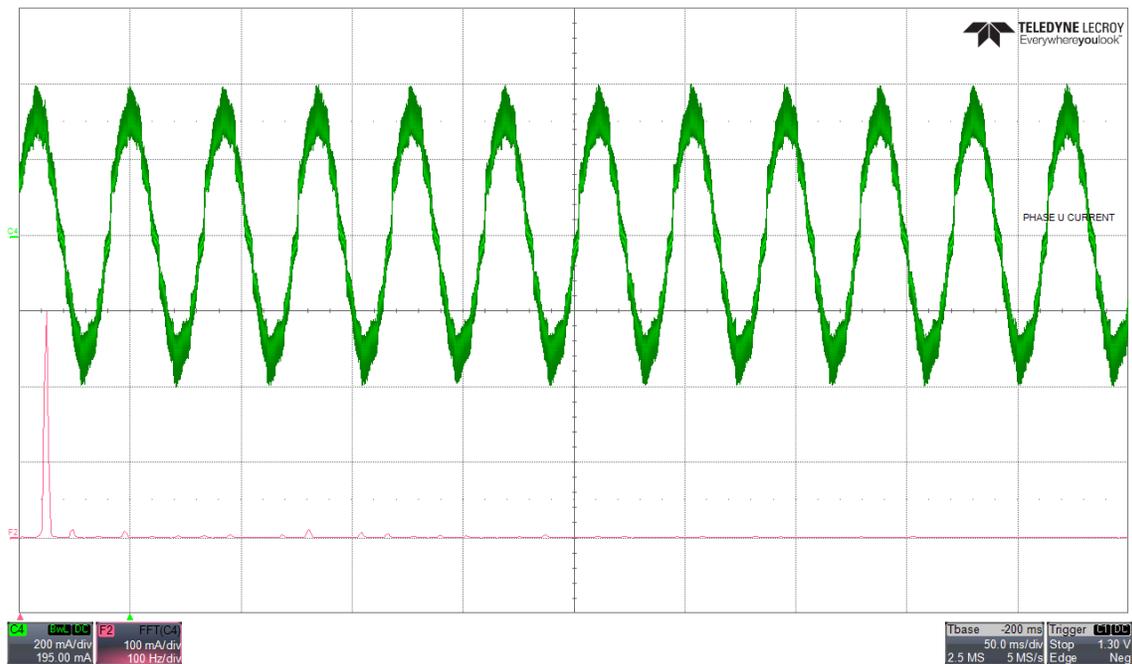


图 2-5. 相电流波形与 FFT - 死区时间补偿启用时

2.1.3 利用 MCF8316A 优化声学性能前后的可闻噪声比较

在下面的实验中，我们使用手持式声级计测量了声学性能（以 dBA 为单位）。图 2-6 比较了空气净化器电机在不同电机频率下的噪声水平。借助死区补偿和连续 PWM 调制方案，在电机电气频率为 33Hz，可闻噪声减少了 3.3 dBA。

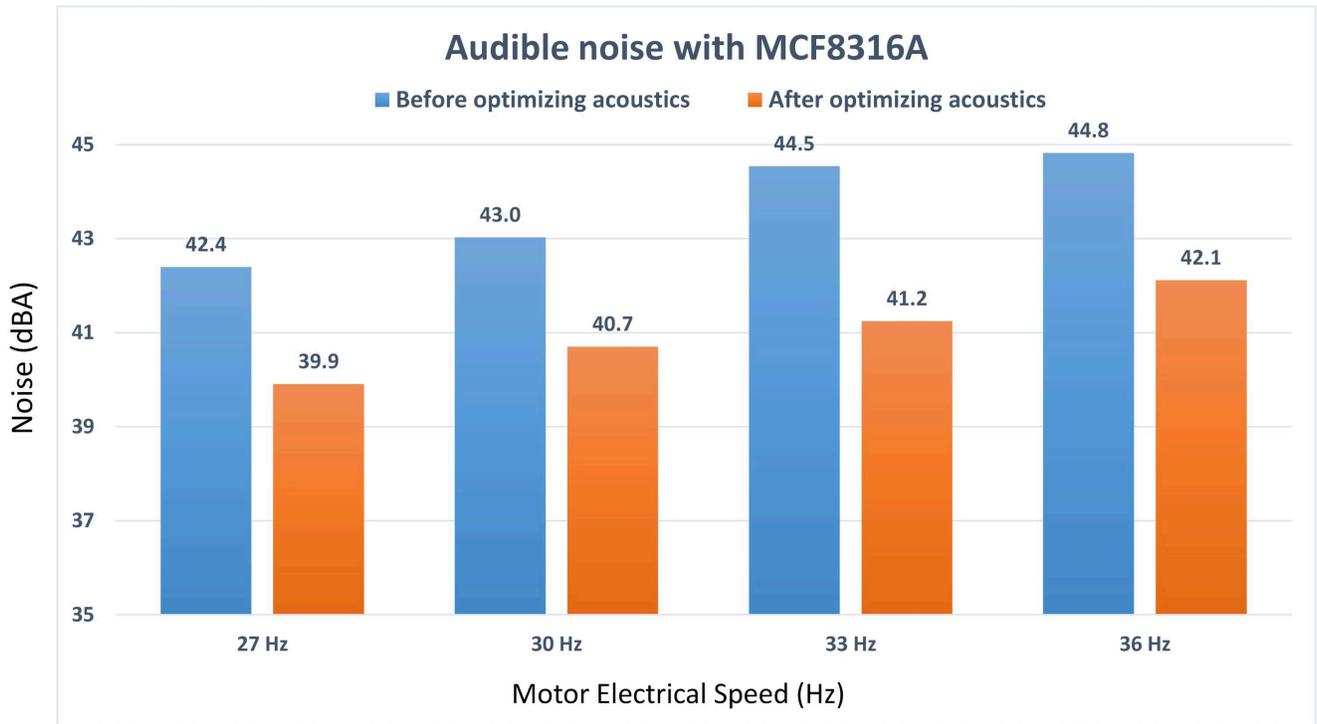


图 2-6. 采用 MCF8316A 时的可闻噪声比较

2.2 利用无传感器梯形控制电机驱动器优化声学性能 (MCT8316A)

通过配置无传感器梯形换向模式，可以优化 MCT8316A 的声学性能。在本应用手册中，我们使用了风机风扇电机来比较 MCT8316A 器件在不同调制方案下的声学性能。

2.2.1 120° 梯形换向方案

在 120° 换向方案中，每半个电气周期内，每个电机相位都会在 120° 时被驱动并在 60° 时进入高阻态，进而导致电机出现六种不同的换向状态。图 2-7 展示了 120° 换向模式中的相电流与电流波形 FFT。

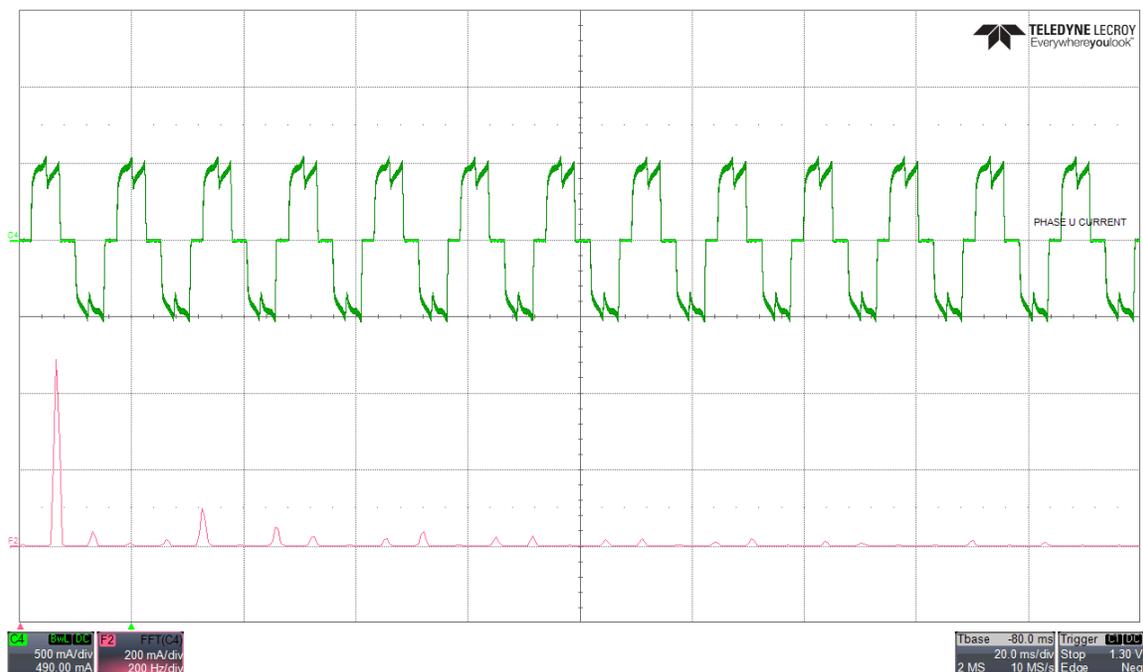


图 2-7. 相电流波形与 FFT - 120° 梯形换向

2.2.2 可变换向方案

在可变换向方案中，MCT8316A 器件会根据电机频率，在 120° 和 150° 梯形换向之间动态切换。在较低速度下，该器件会以 150° 模式工作，而在较高速度下，则会切换至 120° 模式。在 120° 换向模式下，当电机相位因为储存的电感电流而进入高阻态状态时，相电流中会出现扭矩纹波，进而导致声学噪声。为了减少扭矩纹波的影响并改善声学噪声性能，MCT8316A 器件会在可变换向模式下延长 120° 驱动时间并在进入高阻态前逐渐减少占空比，从而减小相电流。在此模式下，相位会在 30° 和 60° 之间处于高阻态，并且该窗口大小会根据速度进行动态调整，当窗口尺寸较小时，可以获得理想的声学性能。图 2-8 展示了 150° 换向模式下的相电流与电流波形 FFT。在 150° 换向模式中，相电流形状更像正弦波形。

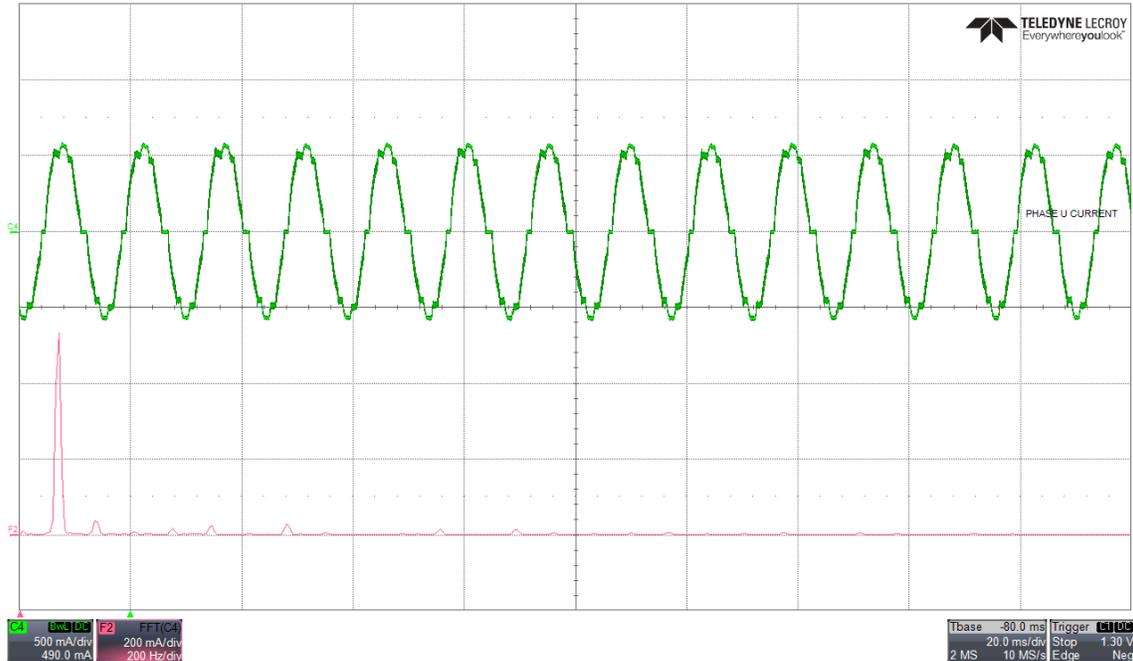


图 2-8. 相电流波形与 FFT - 150° 梯形换向

2.2.3 采用 MCT8316A 时 120° 换向和可变换向之间的可闻噪声比较

与采用 MCF8316A 得到的结果相似，我们使用手持式声级计测量了声学性能（单位为 dBA）。图 2-9 比较了不同电机频率下 120° 换向与 150° 换向之间的噪声水平。以 15Hz 和 16.5Hz 的较低电机频率工作时，在 150° 换向模式下，可闻噪声减少了 3.3 dBA。

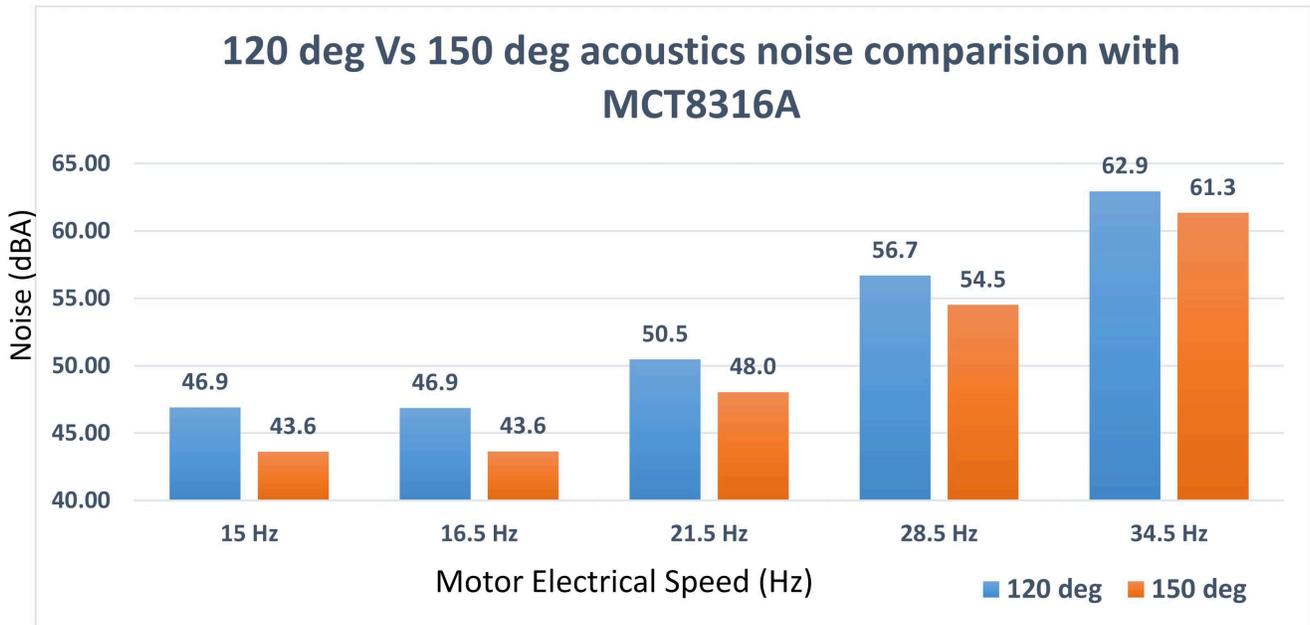


图 2-9. 120° 换向与 150° 换向之间的可闻噪声比较

2.3 比较无传感器 FOC 电机驱动器 (MCF8316A) 和 180° 正弦电机驱动器 (DRV10987) 之间的声学性能

如图 2-10 所示，我们通过测量笔记本电脑风扇电机在不同电机频率条件下的可闻噪声（以 dBA 为单位），比较了 MCF8316A 与 DRV10987 之间的声学噪声。与 DRV10987 器件相比，MCF8316A 器件在 115Hz 时具有 2.71 dBA 的噪声，因此运行更安静。借助 PWM 调制和死区时间补偿技术，MCF8316A 能够优化较低速度条件下的声学噪声。

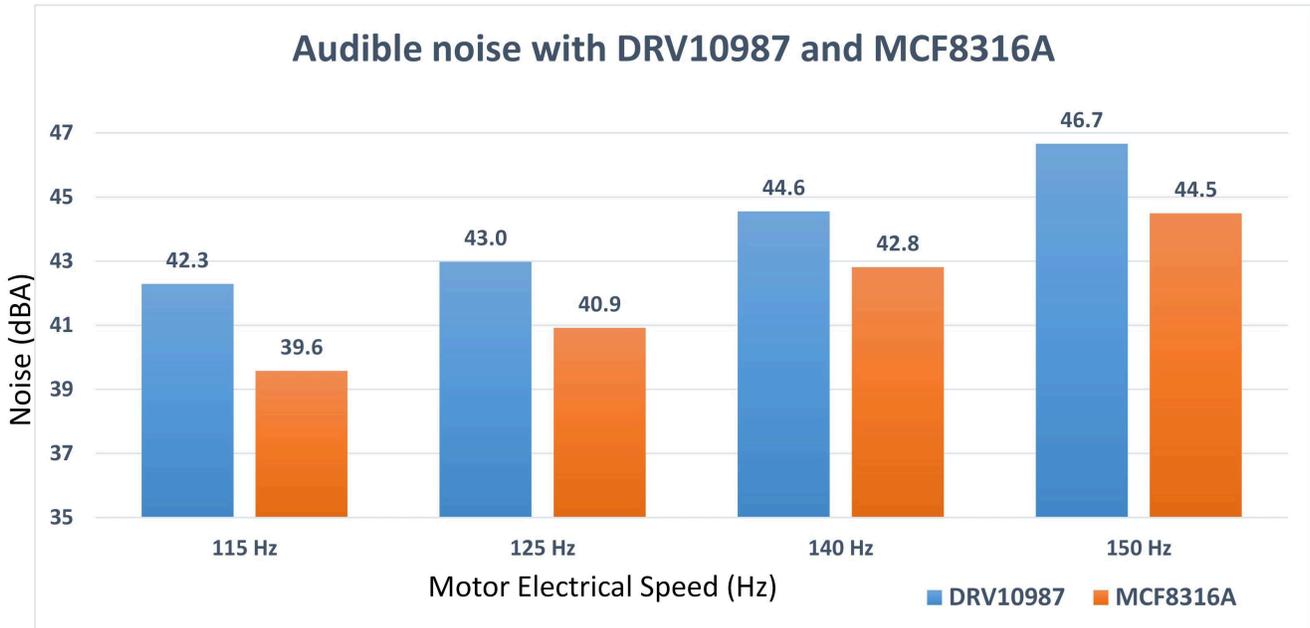


图 2-10. MCF8316A 与 DRV10987 之间的可闻噪声比较

3 总结

相电流波形、相电流波形的 FFT 以及可闻噪声结果显示了 TI 的最新无代码无传感器控制集成式 BLDC 电机驱动器如何降低电机噪声并实现行业领先的声学性能。更多详细信息，请点击下方的链接查看。

MCF8316A - www.ti.com.cn/product/cn/MCF8316A

MCT8316A - www.ti.com.cn/product/cn/MCT8316A

4 参考文献

其他参考资料，请参阅：

- 德州仪器 (TI), [MCF8316A 数据表](#)
- 德州仪器 (TI), [MCT8316A 数据表](#)
- 德州仪器 (TI), [MCF8316A 调优指南](#)
- 德州仪器 (TI), [MCT8316A 调优指南](#)
- 德州仪器 (TI), [DRV10987 数据表](#)

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

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

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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