

引言

在 TI 的无刷直流 (BLDC) DRV8x 产品系列使用的栅极驱动器应用中，通常使用一些控制模式来切换 MOSFET 开关的输出栅极。这些控制模式包括：1x、3x、6x 和独立脉宽调制 (PWM) 模式。

不过，DRV8x 产品系列 (例如 DRV8311) 中还有一项新技术，即 PWM 生成模式。PWM 生成模式允许用户通过德州仪器 (TI) SPI (tSPI) 写入器件寄存器来打开和关闭 MOSFET 栅极输出。这种新控制模式的优势在于其允许通过串行接口配置 PWM 周期、频率和占空比。

因此，借助此控制模式，用户可以通过发送 SPI 读取/写入信号来实现具有稳健电机控制功能的更紧凑的系统，而无需使用来自 MCU 的多个 GPIO 输入。

tSPI 系统设计优势

使用 DRV8311P (DRV8311 的 tSPI 型号) PWM 生成模式的一个系统级优势是消除了 INHx 和 INLx 引脚。BLDC DRV8x 器件通常需要三个 INHx 引脚和三个 INLx 引脚来控制栅极驱动器输出。因此，如果用户想要驱动多个电机，则需要六倍于 MCU 中电机 GPIO 引脚数量的引脚。

通过使用基于 tSPI 的 PWM 生成模式，使用四根导线即可通过 SPI 进行通信，如图 1 所示。此外，tSPI 允许随机访问 DRV8311P 器件，使用通用呼叫地址，并且能够以任何顺序执行读取/写入。

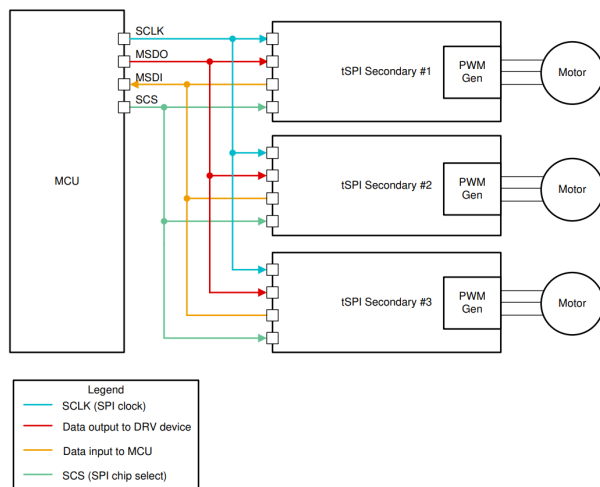


图 1. 使用 tSPI 实现多电机控制

有关在多电机系统中使用 tSPI 的更多信息，请参阅[使用 tSPI 协议减少下一个多电机 BLDC 设计中的导线数量](#)。

PWM 生成模式

在 PWM 生成模式下，可以使用以下换向方法：梯形、正弦和磁场定向控制 (FOC)。通过使用 SPI 将相位驱动器输出设置为正确状态，即可实现这些方法。例如，DRV8311P 允许用户写入 PWM_STATE 寄存器，从而控制每个相位的高侧和低侧 MOSFET 的行为。

此外，该控制模式允许用户以精确粒度配置 PWM 信号的占空比。例如，当 PWM 频率为 20kHz 时，用户可以实现每位 0.2% 的占空比粒度。要使用 DRV8311P 实现这个值，请进行以下计算：

- 使用 [方程式 1](#)，通过配置可生成指定 PWM 频率的 PWM_PRD_OUT 位来设置 PWM 周期输出。

$$PWM_{PRD} = 0.5 \times \left(\frac{F_{SYS}}{F_{PWM}} \right) \quad (1)$$

- PWM_{PRD} = PWM_PRD_OUT 值
- F_{SYS} = 内部系统时钟频率 (大约 20MHz)
- f_{PWM} = PWM 频率

- 通过配置 PWM_Duty_OUTx 位来设置每个相位输出的占空比，使用以下公式：

$$\Delta_{value} = 0.01 \times PWM_{PRD} \times \Delta_{per} \quad (2)$$

- Δ_{value} = PWM_DUTY_OUTx 值
- Δ_{per} = 占空比 (%)

- 要计算可实现的粒度级别，请根据 [方程式 2](#) 对 Δ_{per} 求解，该公式变形如下：

$$\Delta_{per} = \frac{\Delta_{value}}{0.01 \times PWM_{PRD}} \quad (3)$$

在本示例中， PWM_{PRD} 为 500， Δ_{value} 设置为 250。通过使用 [方程式 3](#) 求解 Δ_{per} ，得出 Δ_{per} 为 50.0%。如果 Δ_{value} 增加 1 (即 $\Delta_{value} = 251$)， Δ_{per} 变为 50.2%。因此，20kHz PWM 频率下的占空比粒度为 0.2%。

DRV8311P 占空比步长精度

为展示上一节中提到的粒度级别，将 DRV8311P 的输入占空比从 50.0% 开始，按 0.2% 步长递增，直到输入占空比达到 51.0%。在本测试中，A 相的高侧 (HS) 受 PWM 控制，B 相的低侧 (LS) 为导通状态，C 相的 HS 和 LS 为关断状态。[表 1](#) 展示了观察到的粒度级别。

表 1. DRV8311P 占空比粒度

输入占空比 (%)	测得的占空比 (%)	目标占空比步长 (%)	测得的占空比步长 (%)
50.0	49.78	-	-
50.2	49.98	0.20	0.20
50.4	50.18	0.20	0.20
50.6	50.38	0.20	0.20
50.8	50.58	0.20	0.20
51.0	50.78	0.20	0.20

[图 2](#) 和 [图 3](#) 是在占空比测量过程中，在 OUTA 上观察并捕获的波形，对应 [表 1](#) 中的前两行数据。

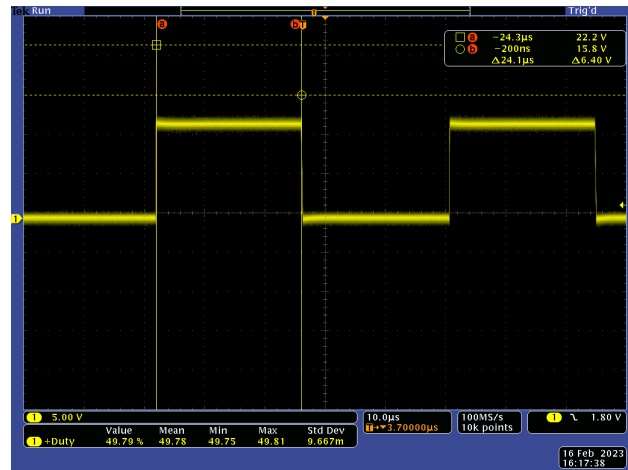


图 2. DRV8311P 占空比为 50.0% 时测得的步长精度

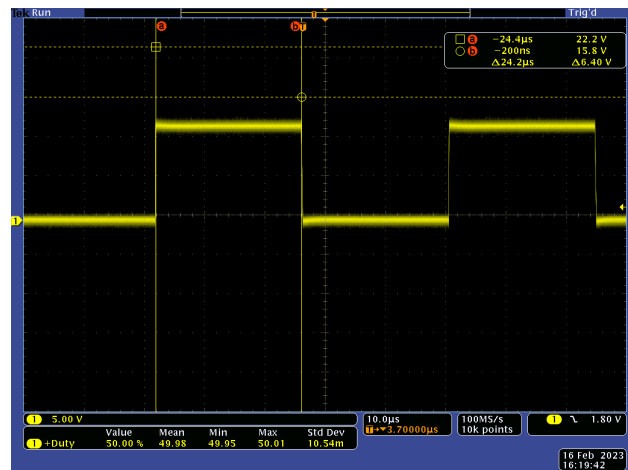


图 3. DRV8311P 占空比为 50.2% 测得的步长精度

如 [图 2](#) 和 [图 3](#) 所示，测得的占空比如预期一样增加了 0.2%。

DRV8311H 占空比步长精度

为与使用 PWM 生成模式的 DRV8311 tSPI 型号所观察到的精度水平进行比较，使用 DRV8311H (硬件型号) 进行了相同的测试。同样，A 相 (INHA) 的高侧 (HS) 受 PWM 控制，B 相 (INLB) 的低侧 (LS) 被拉高，C 相的 HS 和 LS 保持低电平。[表 2](#) 展示了 DRV8311H 的占空比步进精度。

表 2. DRV8311H 占空比粒度

输入占空比 (%)	测得的占空比 (%)	目标占空比步长 (%)	测得的占空比步长 (%)
50.0	50.13	-	-
50.2	50.35	0.20	0.22
50.4	50.56	0.20	0.21
50.6	50.76	0.20	0.2
50.8	50.93	0.20	0.17

图 4 和图 5 是在占空比测量过程中，在 OUTA 上观察并捕获的波形，对应表 2 中的前两行数据。通道 1 (黄色) 捕获输入 PWM 信号，而通道 2 (蓝色) 捕获测量的 PWM 信号。

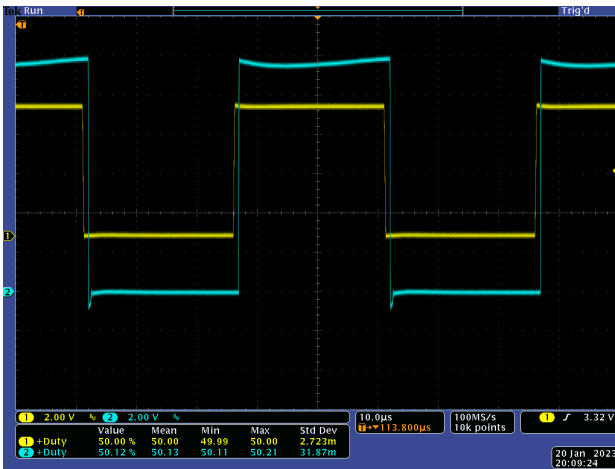


图 4. DRV8311H 占空比为 50.0% 测得的步长精度

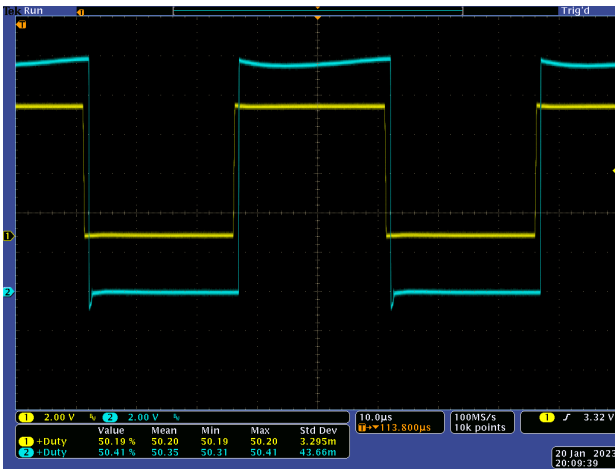


图 5. DRV8311H 占空比为 50.2% 测得的步长精度

结论

如前所述，如果用户正确设计 PCB 并执行正确的系统操作，PWM 生成模式可以作为一个功能强大的工具，用于帮助减少系统中不必要信号的数量。根据本文所示的占空比步长精度数据，PWM 生成模式是可用于电机控制的可靠方法。

参考

更多参考，请参见以下文档：

- 德州仪器 (TI)，[如何使用 DRV8311 通过 5 根导线驱动 4 个电机演示视频](#)。
- 德州仪器 (TI)，[使用 tSPI 协议减少下一个多电机 BLDC 设计中的导线数量](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[集成 MOSFET 驱动器中的延迟和死区时间](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[DRV8311](#)，产品页面。
- 德州仪器 (TI)，[DRV8311 三相 PWM 电机驱动器](#)，数据表。
- 德州仪器 (TI)，[DRV8311HEVM](#)，产品页面。
- 德州仪器 (TI)，[DRV8311HEVM 用户指南](#)。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司