

1 简介

减少温室气体 (GHG) 排放的全球性举措推动了汽车的发展，要求汽车制造商提高新车动力总成的电气化水平。轻混合动力电动汽车 (MHEV) 采用 48V 电机驱动系统来帮助减少内燃机 (ICE) 的 GHG 排放，已成为实现合规性的极具吸引力的选择，因为这种汽车的实现成本远远低于全混合动力电动汽车。本白皮书介绍如何使用 DRV3255-Q1 48V BLDC 电机驱动器在 MHEV 中实现汽车安全完整性等级 D (ASIL D) 功能安全，同时提供高达 30kW 的电机功率和高集成度以帮助减小电路板空间。

2 MHEV 与 48V 电机驱动系统的使用

在美国、日本、中国以及欧盟等国家/地区，多项旨在减少温室气体 (GHG) 排放的全球性举措推动了汽车的发展。例如，美国运输部下属的美国国家公路交通安全管理局于 2020 年 3 月发布了其最终环境影响声明^[1]，其中规定了 2021 年至 2026 年的车辆燃油经济性指标。根据该声明第 2.2.2.3 条的估计，到 2026 年，乘用车和卡车合并的公司平均燃油经济性指标将达到 40.4mpg。欧盟也承诺根据《巴黎协定》(COP21) 于 2030 年前将 GHG 排放量减少 40% (与 1990 年相比)^[2]。

汽车制造商有几种方法可以实现减少 GHG 排放的目标。一种方法是制造采用 48V 电机驱动系统的轻混合动力电动汽车 (MHEV)。由于内燃机 (ICE) 在燃烧过程中会排放 GHG，因此 MHEV 中的 ICE 会在车辆滑行时关闭，这有助于减少 ICE 的 GHG 排放。在这种情况下，48V 电机驱动系统会为 48V 电池充电，以便为车辆供电。MHEV 对于汽车制造商而言是实现 GHG 减排目标的一种极具吸引力的选择，因为这种汽车的实现成本远低于全混合动力电动汽车，并且具有设计灵活性。

MHEV 中的 48V 电机驱动系统可以根据设计目标，在不同位置固定到变速器系统。图 2-1 展示了变速器系统上的连接点。

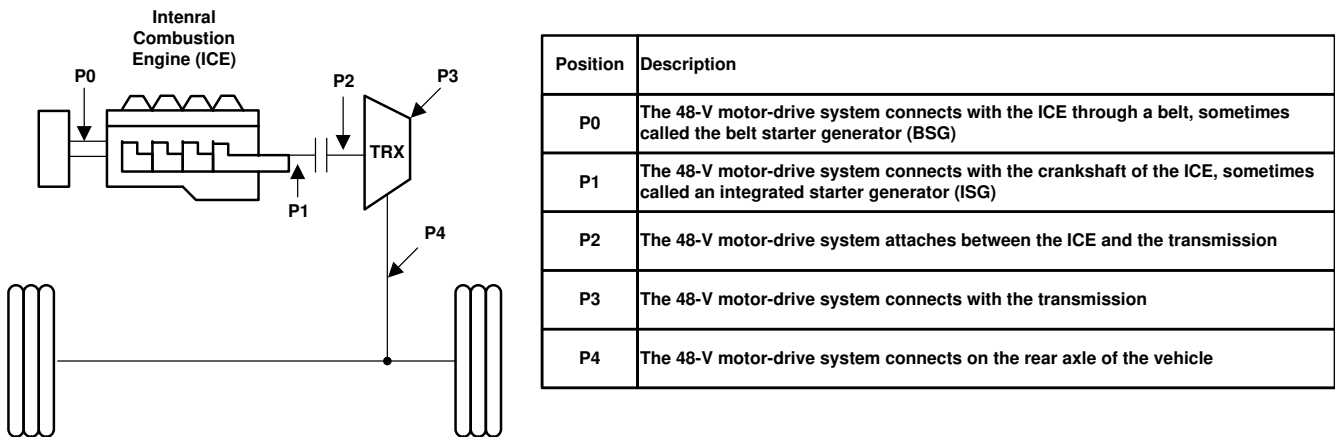


图 2-1. 变速器系统上的电机驱动系统连接点 (48V)

48V 电机驱动系统位于 P0 或 P1 时，可以用作起动机发电机，因为它连接到 ICE 并兼具起动机和发电机的功能。当位于 P2、P3 或 P4 时，48V 电机驱动系统用作电动发电机。

3 48V 电机驱动系统的设计挑战

48V 电机驱动系统的设计挑战

影响成功设计 48V 电机驱动系统的因素有很多：大功率电机驱动、安全性和小尺寸。大功率电机驱动对于帮助实现 GHG 减排非常重要。由于 48V 电机在车辆滑行和制动过程中会发电，用作起动机发电机时，还会在发动机启动时提供动力辅助，因此，确保功能安全至关重要。另外，在发动机舱有限的空间内，48V 电机系统靠近 ICE 放置，有必要实现小尺寸。

对于汽车动力总成应用，典型的 48V 电机驱动系统需要 10kW 至 30kW 的电功率。48V 和 12V 双电源系统可以支持这种级别的大功率电机驱动。大功率 48V 电机驱动器有很多种不同的电源架构。

图 3-1 显示了 48V 电机驱动器的最常见架构。把 48V 电池连接到电机，然后通过直流转直流降压器把 48V 向下转为 12V 供应给电机驱动器，电源管理集成电路和微控制器。12V 电池和透过直流转直流降压器所产生的 12V 电源透过二极管接起来，以确保能提供电机控制所需要的 12V 电源。48V 电源的电压应遵循国际标准化组织 (ISO) 21780 规定的标准 (如图 3-2 所示)。

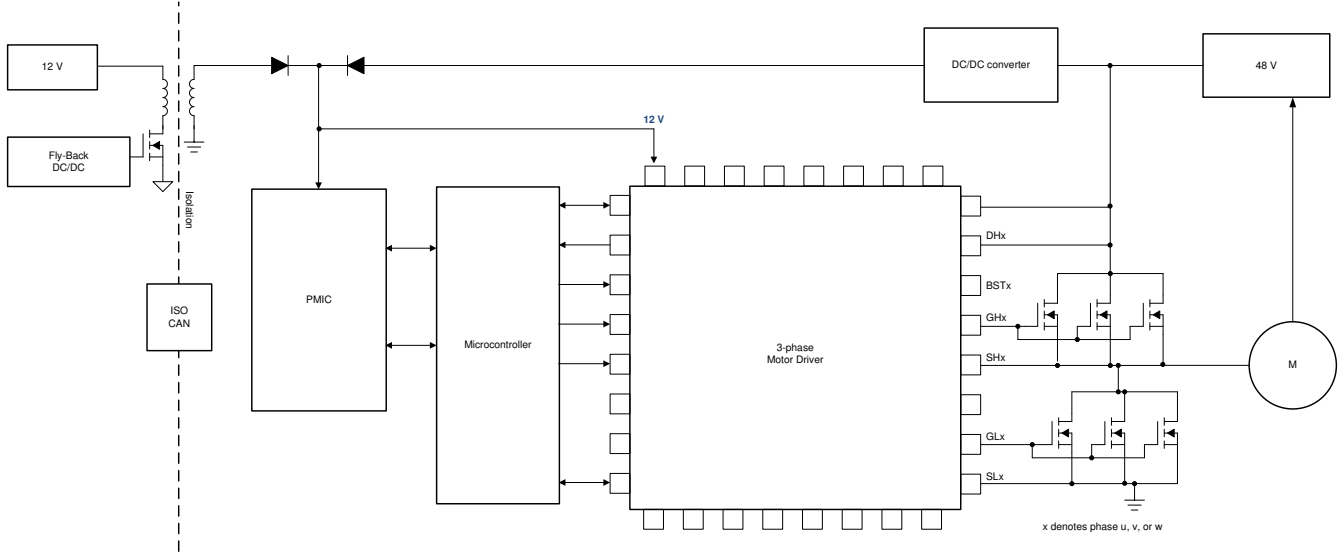


图 3-1. 大功率 48V 电机驱动器的常见电源架构

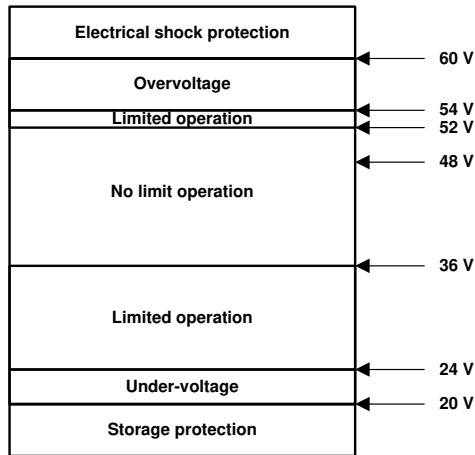


图 3-2. ISO 21780 规定的 48V 电压电平

4 大功率电机驱动的注意事项

如图 3-1 所示，48V 大功率电机驱动器可以驱动外部金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET)，从而使电机旋转。为了支持 10kW 至 30kW 的功率，这些外部 MOSFET 需要支持 200A 至 600A 以上的电流。尽可能减小 MOSFET 的 $R_{DS(on)}$ 有助于减小热耗散和导通损耗；在某些情况下，宜在每个通道中并联多个 MOSFET，因为这样有助于每个 MOSFET 的散热。因此，MOSFET 的总栅极电荷很大，在 300nC 至 700nC 之间。在功率达 30kW 等极端情况下，MOSFET 的总栅极电荷可能高达 1,000nC。

必须优化由开关损耗引起的热耗散，并确保整个解决方案符合电磁兼容性 (EMC) 规范，这一点很重要。MOSFET V_{DS} 的上升和下降时间决定了开关损耗。更短的上升和下降时间可以减少开关损耗，但会影响 EMC 性能。图 4-1 显示了 MOSFET 的栅极电荷与 MOSFET 开关期间下降时间之间的关系。

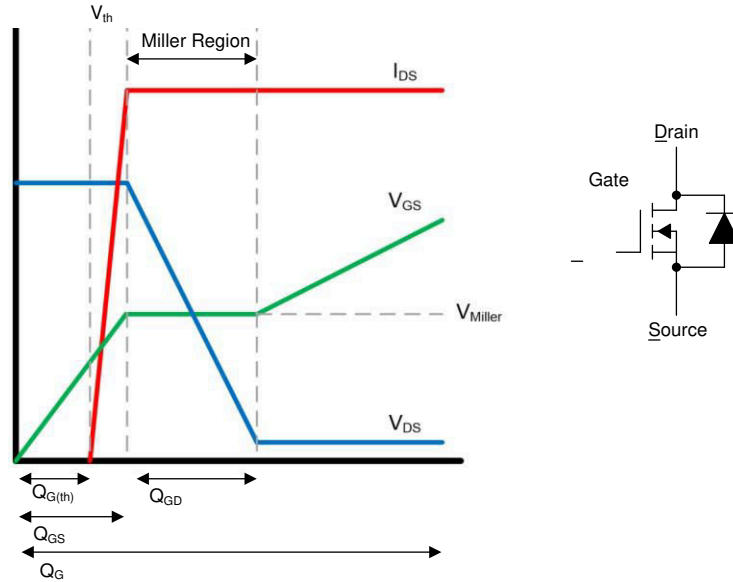


图 4-1. V_{DS} 下降时间与栅极电荷间的关系

如图 3-2 所示，48V 电池可能会超过标称电压，其瞬态过冲可能高于 60V 限值。相反，由于 MOSFET 寄生二极管的反向恢复时间将导致反应缓慢，因此电机驱动器的相连接引脚必须能够承受负瞬态电压。选择一个能够在高于 48V 的电压下保持正常运行并仍然能够承受负电压的电机驱动器是很难的。

集成的 **DRV3255-Q1** 48V BLDC 电机驱动器旨在驱动高栅极电荷 MOSFET：栅极驱动器输出的峰值拉电流为 3.5A，栅极驱动器输出的峰值灌电流为 4.5A。凭借如此高的电流驱动能力，即使在栅极电荷为 1,000nC 的情况下，也可以缩短 MOSFET V_{DS} 的上升和下降时间。另外，**DRV3255-Q1** 能够选择栅极驱动器输出电流电平。此器件可帮助系统设计人员通过可调的电流电平来微调上升和下降时间，以便在开关损耗（进而影响热耗散）和 EMC 性能之间进行优化。

DRV3255-Q1 高侧 MOSFET 栅极驱动器自举引脚的最大工作电压为 105V。同时，再结合 90V 的连续工作最大电机电源引脚电压，**DRV3255-Q1** 可以在旋转 48V 电机时实现真正的 90V 运行。自举引脚、高侧 MOSFET 源极感应引脚和低侧 MOSFET 源极感应引脚的负瞬态电压额定值为 -15V。

5 48V 电机驱动系统的安全性和尺寸注意事项

采用安全的大功率电机驱动器时需要有保护机制，因为流经电机的额定电流可能超过 200A。48V 电机驱动系统的关键问题之一是电机可能产生不必要的功率，从而出现可能导致系统损坏的过压条件。系统应具有功能 MOSFET 的控制机制（确保正确导通或关断），以便保护系统免受过压条件造成的进一步损害。此类保护通常需要外部安全逻辑和比较器。

DRV3255-Q1 集成了主动短路逻辑，让系统设计人员能够确定对 MOSFET 短路的响应。该器件可以配置为启用所有高侧 MOSFET 或所有低侧 MOSFET 或者动态启用所有低侧或高侧 MOSFET，而不是通过禁用所有 MOSFET 来响应故障情况。主动短路输入的器件响应延迟时间可通过串行外设接口 (SPI) 寄存器进行编程和配置。此外，DRV3255-Q1 提供完整的诊断覆盖范围，并按照 ISO 26262 标准设计，有助于实现最高可达汽车安全完整性等级 D (ASIL D) 的功能安全电机驱动系统。

图 5-1 展示了 48V 大功率电机驱动器设计的典型电机驱动器方框图。要实现安全可靠的电机驱动系统，需要使用钳位二极管、外部驱动电路、汇路电阻器和二极管、比较器以及外部安全逻辑。DRV3255-Q1 集成了外部逻辑和比较器，在自举引脚上支持高达 105V 的电压，可处理低至 -15V 的负瞬态电压，并提供可选的大电流栅极驱动器电流输出。如图 5-2 所示，采用 DRV3255-Q1 来设计 48V 大功率电机驱动系统能移除虚线框的器件。这种方法可以简化设计并减少电路板上的元件数量，从而实现适合于发动机舱有限空间的紧凑设计。

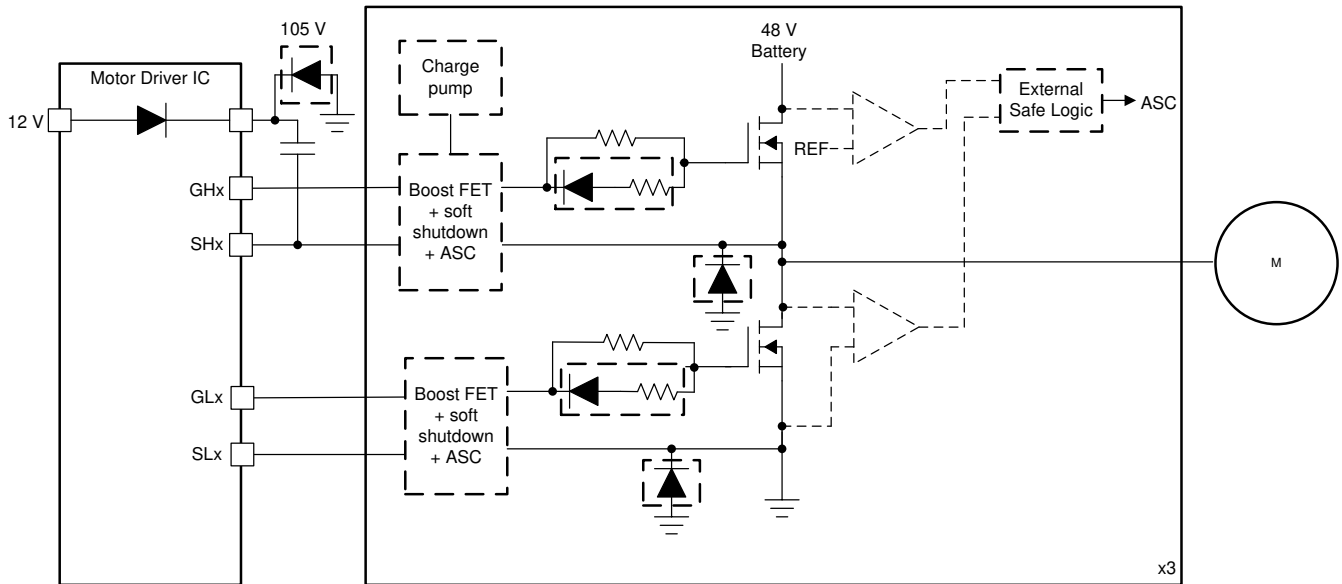


图 5-1. 电机驱动器方框图

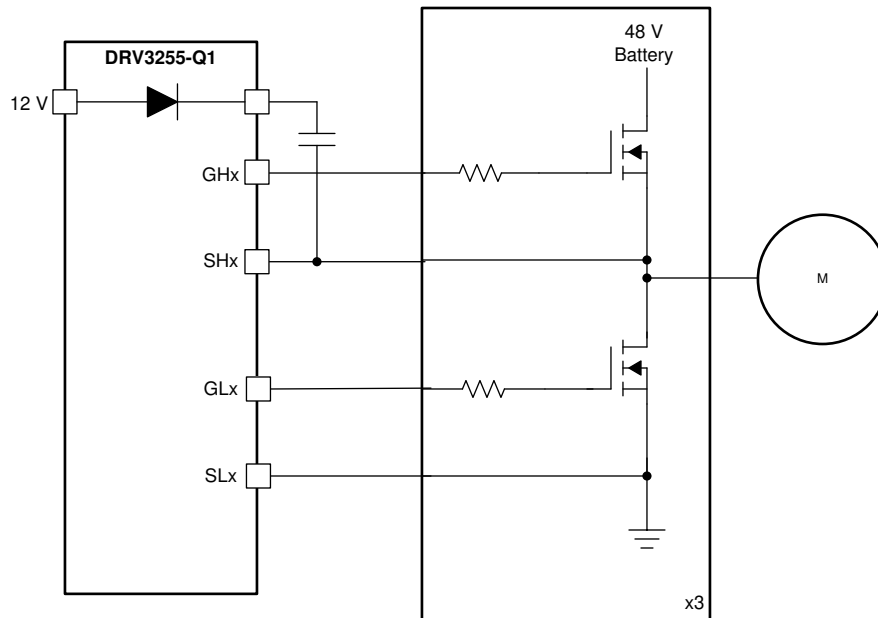


图 5-2. 简化的 DRV3255-Q1 电机驱动器方框图

6 结语

48V 电机驱动系统旨在减少 MHEV 的 GHG 排放。作为系统设计人员，他们需要设计尺寸小且功能安全的大功率 (10kW 至 30kW) 48V 电机驱动系统。DRV3255-Q1 具有可选的高栅极驱动电流、高压瞬态支持、主动短路逻辑和功能安全合规性，有助于设计大功率、功能安全的小型 48V MHEV 电机驱动系统。

7 参考文献

1. “Final Environmental Impact Statement – The Safer Affordable Fuel-Efficient (SAFE) Vehicles Rule for Model Years 2021-2026 Passenger Cars and Light Trucks,” National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, March 2020 (docket no. NHTSA-2017-0069).
2. “Worldwide Emission Standards and Related Regulations – Passenger Cars/Light and Medium duty Vehicles” , CPT Group GmbH, May 2019.

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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