

Technical Article

利用主动短路技术将电动自行车安全提升到新高度



Akshay Rajeev Menon



电池供电的电动自行车和电动踏板车为传统摩托车提供了一种可持续且环保的替代方案。许多电动自行车采用较大的 48V 或 36V 电池，在提供充足扭矩的同时支持以更低电流运行。然而，随着市场对大功率电动自行车需求不断增长，设计人员和制造商面临着确保安全与可靠的重大设计挑战。

电动出行系统的核心架构是低压牵引逆变器，可在正常骑行时辅助蹬踏，并在上坡时减轻骑行者负担。通常位于车轮处的电机能将电能转化为机械能，或将机械能转化为电能。后一种转化方式可能以受控方式（再生制动）或非受控方式发生。

当电机在非受控（滑行）情况下旋转时，反电动势会通过功率级的二极管整流将电流反馈至电池。这种惯性滑行状态会带来电池电压不稳定上升的挑战。当出现推车、下坡滑行或骑行者在电池未连接/控制器未唤醒以监测供电电压时蹬踏等情况，系统可能进入供电泵升状态（也称为发电机模式运行）。若不加以控制，供电电压可能超出电气系统工作极限，导致电路因电气过压事件而受损。系统设计人员必须确定如何控制系统能量，避免其超过运行限值。

主动短路技术

主动短路是一种能够安全耗散大量能量的工程技术。它通过同时导通所有高侧或低侧金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 实现制动功能，使电机短路并形成一条流经 MOSFET 的高电流循环路径，避免电流流向电源。

图 1 展示了采用 TI **DVR8363-Q1 栅极驱动器** 的电动自行车系统架构，该架构通过 **ASCIN** 引脚实现制动模式。

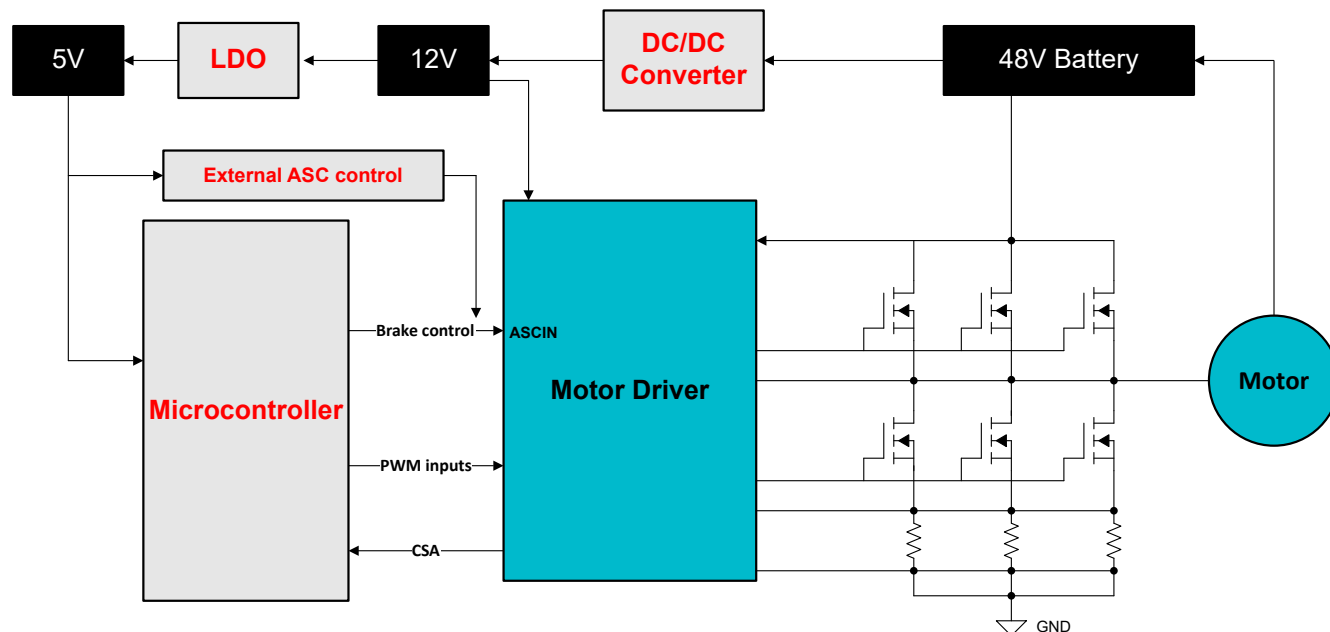


图 1. 具有制动控制功能的 **DRV8363-Q1** 的电动自行车系统方框图

虽然早期的电动自行车制造商采用了分立式元件来测量电池电压，并在该电压超过允许阈值时触发制动模式，但外部系统无法对 MOSFET 故障做出动态反应。例如，如果系统故障指示高侧 MOSFET 损坏，则需要使用高侧制动而不是低侧制动，以避免电源对地短路。

在新型设计中，**DRV8363-Q1** 解决了制动难题，同时通过特性集成减小了布板空间。逻辑电平 **ASCIN** 引脚可以在发生系统故障时触发紧急制动模式。**DRV8363-Q1** 还可以通过串行外设接口 (SPI) 触发或在过压情况下自动触发主动短路。该栅极驱动器可配置为根据寄存器设置触发低侧或高侧制动。

我们在一种电动自行车制动实施方案中发现了六类主要的故障工况：

- 在高侧 MOSFET 短路的情况下使用低侧制动时，发生击穿状况（反之亦然）。如果高侧 MOSFET 在运行期间损坏，并且系统触发低侧主动短路模式，将会形成 48V 电源到地的通路，导致高电流击穿事件，这可能会损坏系统并给用户带来风险。

图 2 中所示 **DRV8363-Q1** 的高级保护特性包括内置以下逻辑：通过漏极到源极电压监测来检测高侧 MOSFET 短路情况，随后覆盖低侧主动短路命令以切换到高侧制动，从而在防止接地短路的同时安全地耗散电流。这些保护逻辑和诊断特性既提升了用户安全性又降低了固件资源需求。

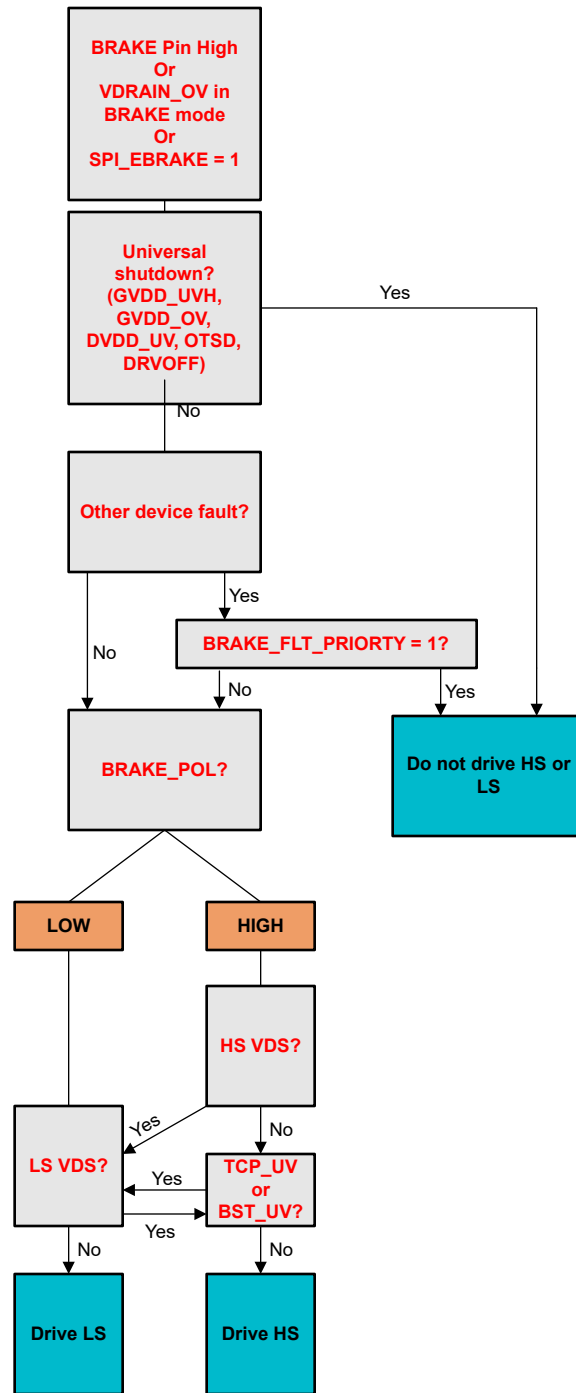


图 2. 主动短路状态下防止击穿的智能逻辑

- 在制动模式与自由滑行模式之间切换时，电机相位出现高电流尖峰。当用户在下坡滑行时，自由旋转的电机将导致电池电压上升。在分立式制动模式系统中，当电压超过特定限值时将触发制动，从而降低电压。但是，一旦电压降至阈值以下，将会停止制动，自由旋转的电机将导致电池电压再次上升。这种情况适合低电流场景，但在高电流应用中可能很危险，制动与自由滑行模式之间的切换会导致电流尖峰，可能损坏板载元件。

DRV8363-Q1 提供了一种高级响应模式来控制上升的电压，使设计人员能够根据系统要求对重试或锁存制动模式进行编程。

- 制动期间发生 **MOSFET 热损伤**。在高电流制动场景中，仅使用低侧或高侧制动都会导致 MOSFET 发热，因为在电流耗散时 MOSFET 会持续导通。图 3 显示了两种制动模式之间的电流流动方向。

凭借通过 SPI 触发低侧或高侧制动的功能，DRV8363-Q1 可在高侧和低侧主动短路之间切换，从而帮助散热并更好地管理电路板热量。

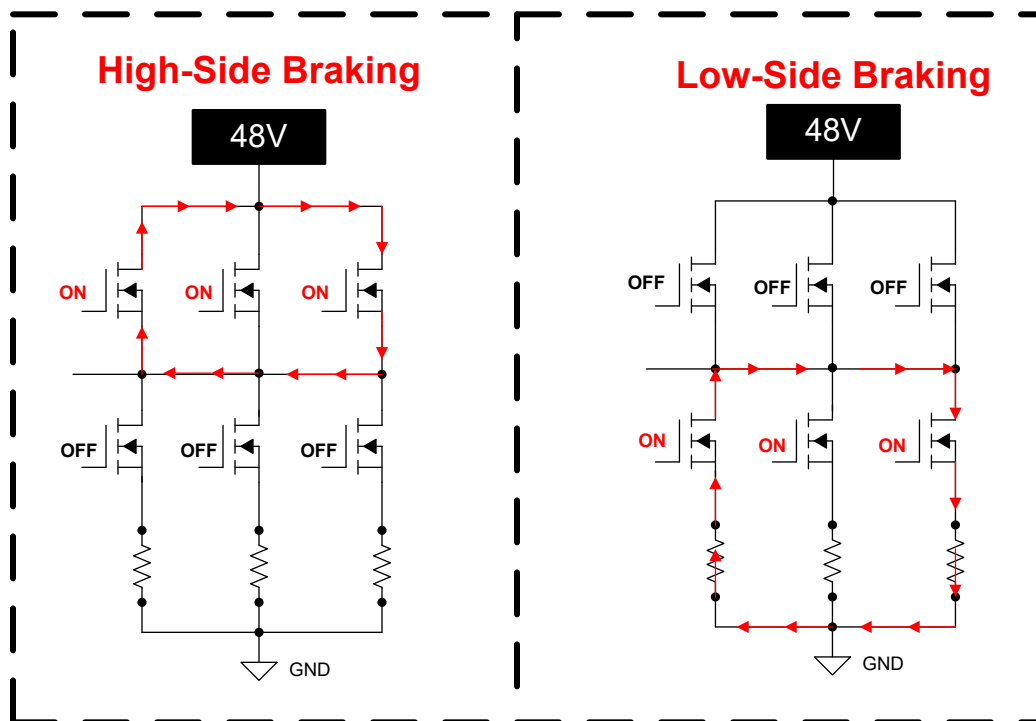


图 3. 主动短路实施方案：高侧与低侧

- **电源电压测量不准确，响应时间更慢。**分立式制动实施方案通常会受到电池端检测电压与 MOSFET 漏极测量电压不准确的影响。此外，负责发出制动信号的微控制器 (MCU) 对数据进行采样和解码可能会导致系统响应延迟，这在紧急情况下会带来危险。

通过直接测量高侧 MOSFET 漏极处的电池电压，DRV8363-Q1 的集成式主动短路系统可改善过压事件期间触发制动模式的精度和响应时间。

- **如果 MCU 损坏或存在驱动器故障状态，将无法触发主动短路。**虽然可通过 MCU 控制的脉宽调制信号手动进入制动状态，但 DRV8363-Q1 中的集成式主动短路功能提供了一种更可靠的制动方法，即使在硬件故障期间也是如此。例如，如果代码执行错误或内部硬件故障导致 MCU 中断，DRV8363-Q1 可以自动激活主动短路以应对电源过压情况，而无需使用受 MCU 控制的外部触发器。如果 DRV8363-Q1 内部出现故障，主动短路会绕过某些内部故障，覆盖关断以强制制动。
- **增加了布板空间和物料清单 (BOM) 成本。**实施分立式主动短路解决方案需要多个比较器和检测电路，因此会增加最终解决方案的 BOM 成本并占用布板空间，这在空间和重量要求较为严格的电动自行车应用中是一个问题。

结语

TI 的 DRV8363-Q1 通过用于制动的主动短路技术和 MOSFET 监测功能，解决了电动出行系统中的特定安全问题。为了增强电动自行车的安全，该器件提供了可编程控制特性，有助于防止潜在的危险电压尖峰，并能在电机和发电机模式下保持可靠的性能。

其他资源

查阅 [DRV8363-Q1 具有精确电流检测和高级监测功能的 48V 电池三相智能栅极驱动器数据表](#) 和 [DRV8363-Q1EVM 评估模块](#)。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司