

Technical Article

액티브 단락 기술로 전기 자전거의 안전성 향상

Akshay Rajeev Menon



배터리로 구동되는 전기 자전거와 전기 스쿠터는 전통적인 오토바이에 대한 지속 가능하고 환경 친화적인 대안입니다. 많은 전기 자전거에서는 대형 48V 또는 36V 배터리를 사용하여 적절한 토크를 제공하면서도 더 낮은 전류를 사용할 수 있습니다. 그러나 고전력 전기 자전거에 대한 요구가 증가함에 따라 설계자와 제조업체는 안전성과 신뢰성을 모두 보장하기 위한 어려운 설계 과제를 직면하게 되었습니다.

E-모빌리티 시스템의 핵심은 저전압 트랙션 인버터 모터로, 일반 주행 시 페달을 보조하고 언덕길 주행 시 운전자의 부담을 줄여줍니다. 일반적으로 휠에 위치하는 전기 모터가 전기 에너지를 기계 에너지로 변환하거나 기계 에너지를 전기 에너지로 변환합니다. 후자는 제어 방식(회생 제동) 또는 비제어 방식으로 가능합니다.

모터가 제어 없이(코스팅) 회전하는 경우 역기전력이 전력 단계의 다이오드 정류를 통해 전류를 다시 배터리에 공급합니다. 이 코스팅 단계는 배터리 전압의 불안정한 증가와 관련된 문제를 야기할 수 있습니다. 발전기 모드 작동이라고도 하는 전원 펌핑 상태는 배터리가 연결되지 않은 상태 또는 컨트롤러가 활성화되지 않아 공급 전압을 모니터링하지 않는 상태에서 사람이 자전거를 밀거나, 언덕을 내려가거나, 운전자가 페달을 작동할 때 발생할 수 있습니다. 제어되지 않는 경우 공급 전압은 전기 시스템의 작동 한계를 넘어 증가하여 전기 과전압으로 인해 회로에 손상을 일으킬 수 있습니다. 시스템 설계자는 작동 한계를 넘기 전에 시스템의 에너지를 제어하는 방법을 결정해야 합니다.

액티브 단락 기술

액티브 단락은 대량의 에너지를 안전하게 소모시키는 엔지니어링 기술입니다. 이는 모든 고압측 또는 저압측 MOSFET(금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터)을 켜 제동 기능을 수행하며, 모터를 단락시키고 고전류가 전원으로 흐르지 않고 MOSFET을 통해 재순환하는 경로를 형성합니다.

그림 1에서는 ASCIN 핀을 이용하여 제동 모드를 구현하는 TI의 **DVR8363-Q1 게이트 드라이버**를 사용한 전기 자전거 시스템 아키텍처를 보여줍니다.

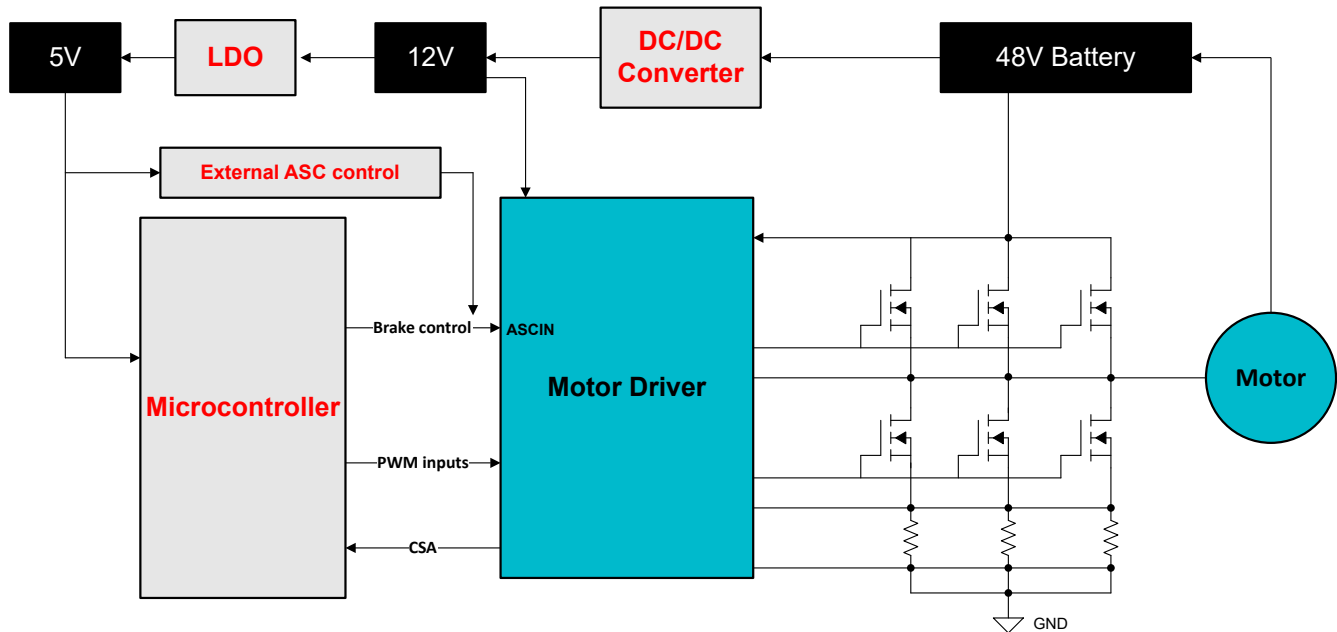


그림 1. DRV8363-Q1의 제동 제어 기능을 포함한 전기 자전거 시스템 블록 다이어그램

초기 전기 자전거 제조업체는 별도의 부품을 사용하여 배터리 전압을 측정하고 해당 전압이 허용 임계값을 초과하는 경우 제동 모드를 트리거했습니다. 하지만 외부 시스템은 MOSFET 오류에 동적으로 대응할 수 없습니다. 예를 들어 시스템 오류에서 고압측 MOSFET의 손상이 감지되면, 접지로의 전원 단락을 방지하기 위해 저압측 제동 대신 고압측 제동을 사용하는 것이 바람직합니다.

최신 설계에서는 DRV8363-Q1이 제동 문제를 해결함과 동시에 기능 통합을 통해 보드 공간을 줄여줍니다. 로직 레벨 ASCIN 핀은 시스템 오류 발생 시 긴급 제동 모드를 트리거할 수 있습니다. 또한 DRV8363-Q1은 SPI(직렬 주변 기기 인터페이스)를 통해 또는 과전압 상태에서 자동으로 액티브 단락을 트리거할 수 있습니다. 이 게이트 드라이버는 레지스터 설정을 바탕으로 저압측 또는 고압측 제동을 트리거하도록 구성할 수 있습니다.

전기 자전거 제동 구현에는 다음과 같은 여섯 가지 주요 문제 상황이 있습니다.

- **고압측 MOSFET이 단락된 상태에서 저압측 제동을 사용하는 경우(또는 그 반대 상황) 숏스루가 발생할 수 있습니다.** 작동 중 고압측 MOSFET이 손상된 상태에서 시스템이 저압측에 대해 액티브 단락 모드를 트리거하면, 48V 전원에서 접지로의 경로가 형성되어 고전류 숏스루가 발생합니다. 이는 시스템 손상 및 사용자 위험으로 이어질 수 있습니다.

그림 2에 표시된 DRV8363-Q1의 고급 보호 기능에는 드레인-소스 전압 모니터링을 통해 고압측 MOSFET 단락을 감지하는 내장 로직이 포함됩니다. 이 로직은 저압측 액티브 단락 명령을 재정의하여 고압측 제동으로 전환함으로써 접지 단락을 방지하면서 전류를 안전하게 소모시킵니다. 이러한 보호 로직 및 진단 기능은 사용자 안전성을 높이고 펌웨어 리소스 사용을 줄입니다.

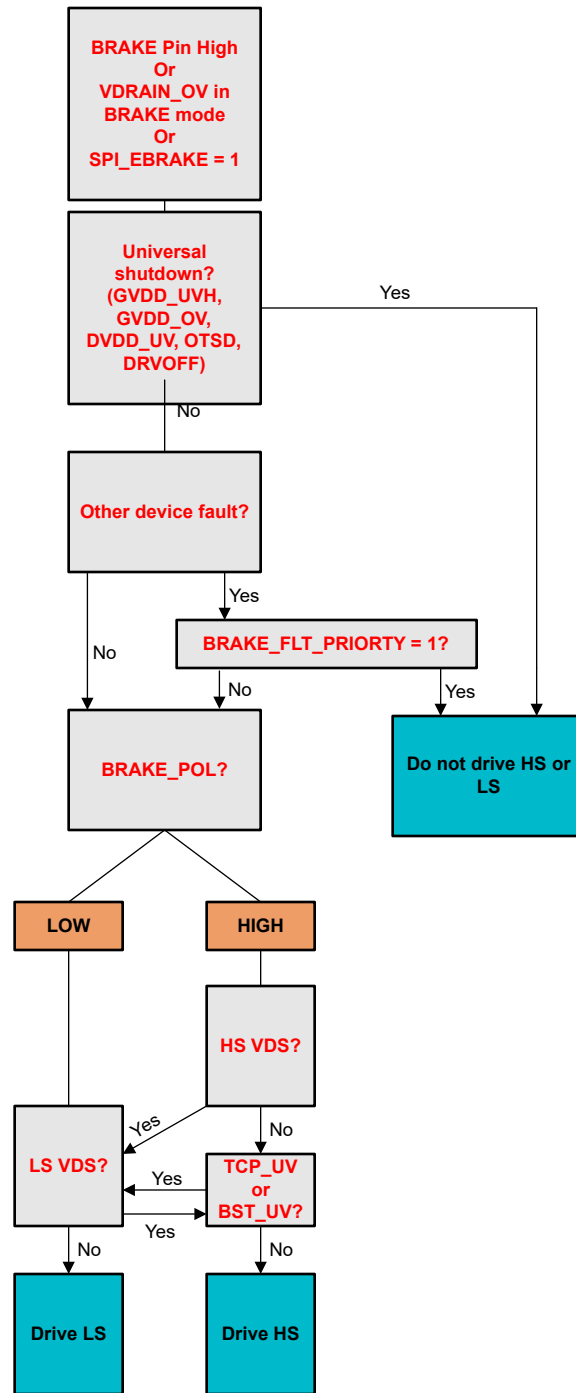


그림 2. 샷스루를 방지하는 액티브 단락의 스마트 로직

- 제동 모드와 프리휠링 모드 간 전환 시 모터 위상에서 고전류 스파이크가 발생할 수 있습니다. 사용자가 언덕길을 코스팅 주행하면, 자유 회전하는 모터가 배터리 전압 상승을 유발합니다. 개별 부품 기반 제동 시스템에서는 전압이 특정 한계를 초과하면 제동이 작동하여 전압을 낮춥니다. 그러나 전압이 임계값 아래로 내려가면 제동이 멈추고, 자유 회전하는 모터가 다시 배터리 전압을 상승시킵니다. 이 방식은 저전류 상황에서는 문제가 없지만, 고전류 애플리케이션에서는 제동과 프리휠링 간 전환 시 발생하는 전류 스파이크로 인해 온보드 부품이 손상될 수 있어 위험합니다.

DRV8363-Q1은 상승하는 전압을 제어하는 고급 응답 기능을 제공하여 설계자가 시스템 요건에 따라 재시도 모드나 래치 제동 모드를 선택적으로 구현할 수 있습니다.

- 제동 중 MOSFET의 열 손상이 발생합니다. 고전류 제동 상황에서 저압측 또는 고압측 제동만 사용할 경우 MOSFET이 과열될 수 있습니다. 이는 전류가 소모되는 동안 MOSFET이 지속적으로 전도되기 때문입니다. 그림 3에서는 두 제동 모드 간의 전류 흐름 방향을 보여줍니다.

SPI를 통해 저압측 또는 고압측 제동을 트리거할 수 있는 DRV8363-Q1은 고압측과 저압측 액티브 단락 간 전환을 통해 발열을 분산시키고 보드 열 관리를 개선합니다.

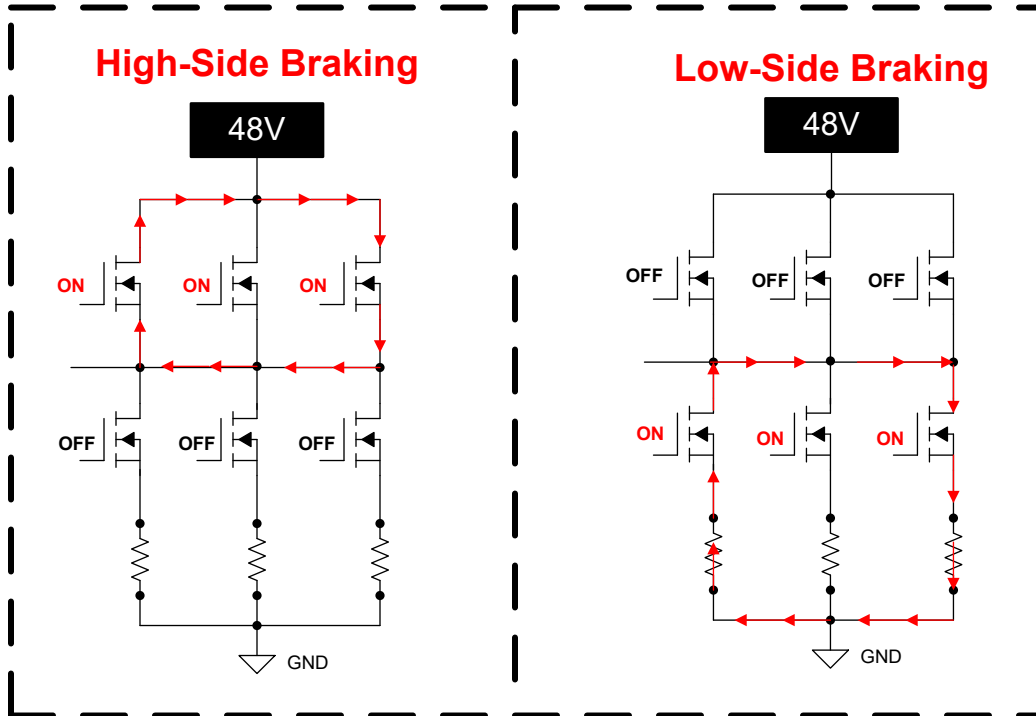


그림 3. 액티브 단락 구현: 고압측 대 저압측

- 부정확한 공급 전압 측정 및 더 느린 응답 시간. 개별적인 제동 구현은 종종 배터리에서 감지된 전압과 MOSFET 드레인에서 측정된 전압의 전압 불일치로 인해 문제가 발생할 수 있습니다. 또한 제동 신호를 명령하는 MCU(마이크로컨트롤러)의 데이터 샘플링 및 디코딩이 시스템의 응답 시간을 지연시킬 수 있으며, 이는 긴급 상황에서 위험할 수 있습니다.

DRV8363-Q1의 통합 액티브 단락 시스템은 고압측 MOSFET 드레인에서 바로 배터리 전압을 측정함으로써 과전압 발생 시 제동 모드 트리거 정확도와 응답 시간을 개선합니다.

- MCU가 손상되었거나 드라이버 오류 상태가 있는 경우 액티브 단락을 트리거할 수 없습니다. MCU 제어 펄스 폭 변조 신호는 제동 상태로 수동으로 전환할 수 있는 반면에, DRV8363-Q1의 통합 액티브 단락 기능은 하드웨어 오류 상태에서도 더 안정적인 제동 모드를 제공합니다. 예를 들어 코드 실행 오류 또는 내부 하드웨어 오류가 MCU를 인터럽트하는 경우, DRV8363-Q1이 외부 MCU 명령 트리거 없이 전원 과전압에 응답하여 액티브 단락을 자동으로 활성화할 수 있습니다. DRV8363-Q1 내부에서 오류가 발생하는 경우, 액티브 단락이 특정 내부 오류를 바이패스하여 강제 제동하도록 섣다운을 무시하고 강제 제동을 실행할 수 있습니다.
- 보드 공간 및 BOM(재료 사양서) 비용 증가. 개별적인 액티브 단락 솔루션 구현을 위해서는 여러 비교기 및 감지 회로를 사용합니다. 따라서 최종 솔루션의 BOM 비용이 증가하고 많은 보드 공간을 차지하며, 이는 엄격한 공간 및 무게 요건을 가진 전기 자전거 애플리케이션에서 우려되는 사항입니다.

결론

TI의 DRV8363-Q1은 제동 및 MOSFET 모니터링을 위한 액티브 단락 기술을 통해 E-모빌리티 시스템의 특정 안전 문제를 해결합니다. 전기 자전거의 안전성을 높이기 위해, 이 장치는 위험할 수 있는 전압 스파이크를 방지하는 프로그래머블 제어 기능을 제공하며 모터 및 발전기 모드에서 안정적인 성능을 지원합니다.

추가 리소스

[DRV8363-Q1 정확한 전류 감지 및 고급 모니터링을 지원하는 48V 배터리 3상 스마트 게이트 드라이버 데이터 시트](#) 및 [DRV8363-Q1EVM 평가 모듈\(EVM\)](#)을 확인하십시오.

상표

모든 상표는 각 소유권자의 자산입니다.

중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 비침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안, 규정 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [ti.com](https://www.ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안했을 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated