

전기 모터 드라이브의 오류 감지를 위해 절연 콤퍼레이터 사용

Krunal Maniar
Product marketing engineer
Texas Instruments

머리말

전기 모터 드라이브는 전기 모터에 가변 주파수 출력을 제공하여 냉난방, 환기, 펌프, 압축기, 엘리베이터와 같은 산업용 부하와 컨베이어 벨트, 광산, 제지 장비와 같은 공장 자동화 부하를 구동하는 전기 시스템입니다.

산업 환경의 전기 모터 드라이브에는 고온 및 고습도, AC 전원선 변동, 기계적 과부하와 같은 조건이 발생합니다. 사용자는 높은 효율성과 안정성을 요구하는 추세입니다. 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT)와 같은 전력 반도체 장치의 스위칭 속도는 지속적으로 증가하고 있으며, 실리콘 카바이드(SiC) 및 질화 갈륨(GaN)과 같은 넓은 밴드갭 기술의 채택이 늘어나면서 더 빠른 스위칭 속도를 구현할 수 있습니다. 더 높은 스위칭 속도와 더 높은 시스템 안정성에 대한 필요성이 증가함에 따라 최신 모터 드라이브 시스템은 산업용 장비 다운타임을 최소화하기 위해 여러 고장 이벤트로부터 감지하고 보호해야 합니다.

이 문서에서 다양한 오류 이벤트의 우선 순위 수준과 영향, 그리고 그러한 오류를 감지해 모터-드라이브 회로에 대한 손상을 방지하는 방법에 대해 설명하겠습니다.

전기 모터 드라이브 소개

그림 1에서 보듯이, 전기 모터 구동 시스템은 AC 주전원에서 전력을 가져와 DC 전압으로 정류한 다음 복잡한 피드백 제어 알고리즘을 통해 부하 수요에 따라 다양한 크기와 주파수로 DC를 다시 AC로 반전합니다.

모터 드라이브 시스템에는 일반적으로 "고전압" 도메인과 "저전압" 도메인의 두 가지 전압 도메인이 있습니다. 일반적으로 저전압 영역에서 마이크로 컨트롤러 또는 디지털 신호 프로세서는 3상 IGBT 전력계에서 피드백 신호(전압, 전류, 온도 등)를 수신하고 전원 스위칭 트랜지스터 및 다른 고압측 전원 회로를 제어하기 위한 펄스 폭 변조 신호를 생성합니다. 이러한 시스템은 저전압 회로에서 고전압 회

로를 격리하기 위한 탄력적이고 안정적인 갈바닉 절연이 필요합니다. 절연 아키텍처를 사용하면 모터 드라이브 시스템의 안정적인 작동을 가능하게 하여 고전압 및 저전압 회로 사이의 접지 루프를 파손하여 비용이 많이 드는 회로의 손상을 방지하고 고전압으로부터 운영자를 보호할 수 있습니다.

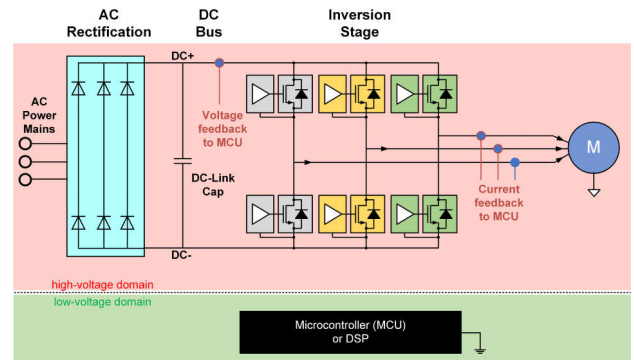


그림 1. AC 입력 전기 모터 드라이브 블록 다이어그램

전기 모터 드라이브의 고장 이벤트 이해

전기 모터 드라이브는 여러 전기적 고장 이벤트에 취약합니다. **그림 2**에서 보듯이 관통 오류는 인접 전원 스위칭 트랜지스터 1과 2를 실수로 동시에 켜는 경우 발생합니다. 이 오류는 전자기 간섭, 스위칭 트랜지스터를 제어하는 마이크로컨트롤러의 오작동, 간단히 마모된 스위칭 트랜지스터 등의 여러 가지 이유로 인해 발생할 수 있습니다. 이 고장은 DC 링크 콘덴서를 단락시키고 치명적인 고장을 일으켜 과도한 가열, 화재 또는 폭발의 원인이 될 수 있습니다. 따라서 관통 고장을 감지하고 전원 스위칭 트랜지스터를 매우 빠르게 끄는 등의 시정 조치를 취해야 합니다.

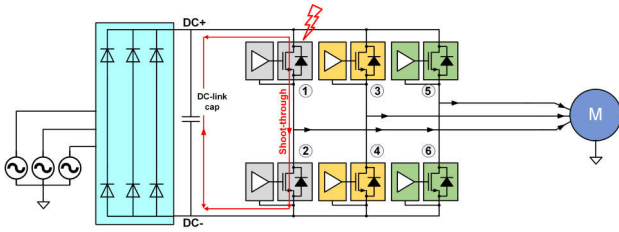


그림2. 전기 모터 드라이브의 슈트루 고장.

그림 3에 나와 있는 것처럼 모터 케이블, 모터 케이스 또는 모터 권선이 접지 측에 단락될 때 접지 고장이 발생합니다. 이러한 접지 단락은 장시간 동안 온도 또는 전압의 오버스트레스 조건에 의해 발생하는 절연의 유전체 강도 저하로 인해 발생할 수 있습니다. 오래된 모터와 케이블은 접지 결합 이벤트에 더 취약하므로 작업자가 감전 위험에 처할 수 있습니다. 따라서 접지 고장에는 모터 재감기 또는 교체와 같은 감지 및 시정 조치가 필요합니다.

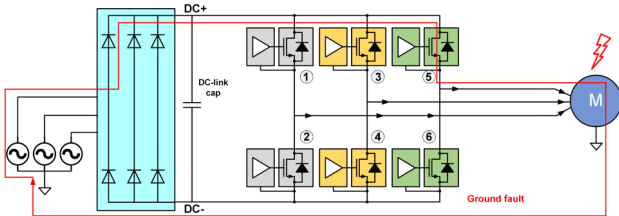


그림3. 전기 모터 드라이브의 접지 결합

그림 4에 나와 있는 것처럼 스테이터의 두 위상 권선 사이에 절연 고장이 발생할 경우 위상 간 단락 고장이 발생합니다. 이러한 위상 대 위상 단락은 장시간 동안 온도 또는 전압의 오버스트레스 조건에 의해 발생하는 절연의 유전체 강도 저하로 인해 발생할 수 있다. 이렇게 짧은 경우 스테이터 전류가 크게 증가하므로 전력계의 IGBT가 손상될 수 있습니다. 오래된 모터와 케이블은 위상 간 단락에 더 취약합니다. 접지 고장과 마찬가지로, 위상 간 고장에는 모터 재감기 또는 교체와 같은 감지 및 시정 조치가 필요합니다.

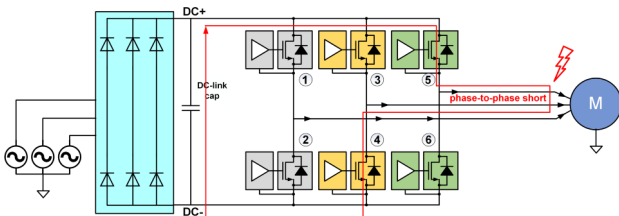


그림4. 전기 모터 드라이브의 위상 간 단락.

과열은 여러 가지 이유로 발생합니다. 브레이크 작동 중 모터에서 DC 링크 레일로 역주입, AC 전원 비정상 회로 부하

의 조정 불량, 배선 오류 및 절연 오류 등 여러 가지 이유가 있습니다. 과전압으로 인해 전압 과스트레스와 과도한 전류가 발생하여 DC 링크 커패시터와 IGBT에 손상을 줄 수 있고, 전기 절연체가 손상되고, 모터 드라이브 시스템의 수명이 단축될 수 있습니다. 관통, 접지 고장 및 위상 간 단락을 중단하거나 줄이고 과도 과전압 상태를 방지하여 IGBT를 통해 열 에너지를 제한하는 것이 매우 중요합니다.

전기 모터 드라이브에서 안정적인 감지 및 보호 달성

설계자는 모터-드라이브 회로의 손상을 방지하기 위해 여러 수준의 안정적인 감지 및 보호 기능을 통합해야 합니다. IGBT와 같은 전력 스위칭 트랜지스터는 상대적으로 짧은 내열 시간(10 μs 미만)을 가지고 있으며 빠르게 과열되어 과도 전류로 인한 손상을 입을 수 있습니다.

전류 제한 퓨즈와 회로 차단기는 뛰어난 과전류 보호 기능을 제공하지만 반응 시간이 느리고 사용자의 개입이 필요합니다. 이들은 종종 고장 발생 시 보호를 위한 최후의 수단입니다.

이러한 고장 조건을 감지하고 모터 드라이브를 신속하게 보호하기 위해 하나의 솔루션이 모터 드라이브 내의 중요한 전기 경로에서 전류와 전압을 감지합니다. 측정된 전류와 전압은 전력 스위칭 트랜지스터와 회로 차단기와 같은 고압측 전력 회로를 제어하는 호스트 마이크로컨트롤러에 의해 수신됩니다. 과전류 또는 과전압 오류를 억제하기 위해 호스트 마이크로컨트롤러는 전원 트랜지스터의 스위칭 특성을 끄거나 수정하거나 회로 차단기를 트립합니다.

그림 5에서는 단락 전류, 과전류, 부족 전압 및 과열 오류 감지 시나리오에서 텍사스 인스트루먼트(TI) **AMC23C14** 저지연 강화 절연 비교기 제품군을 보여줍니다. 이러한 장치는 조정 가능한 비교기 임계값 기능을 통합하고, 전원 공급 장치에 고압측 저손실 레귤레이터를 포함하고, 8핀 소형 아웃라인 통합 회로 패키지에서 0.5μs 미만의 응답 시간을 지원합니다.

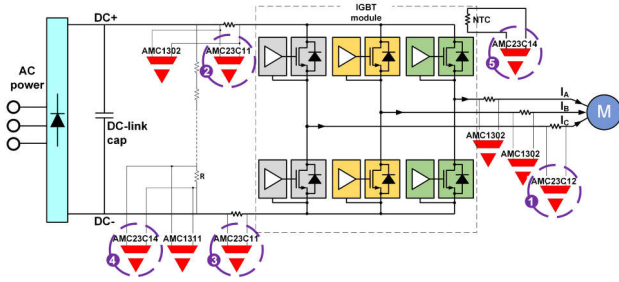


그림 5. 전기 모터 드라이브의 초고속 오류 감지.

다음으로, 전기 모터 드라이브에 있는 AMC23C14 절연 비교기 제품군에 대한 몇 가지 사용 사례를 검토합니다.

활용 사례 1: 양방향 위상 내 과전류 감지

그림 6에서는 AMC23C12를 양방향 위상 내 과전류 감지에 사용하는 방법을 보여줍니다.

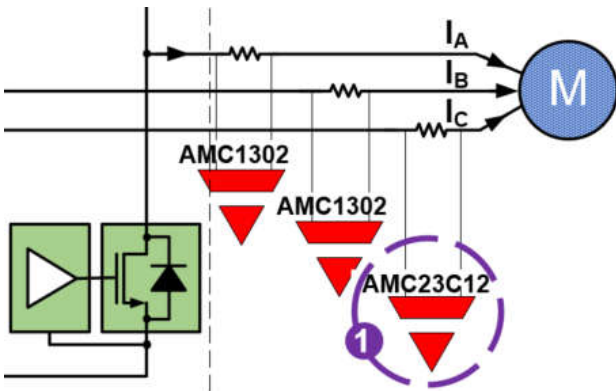


그림 6. 양방향 위상 내 과전류 감지.

완전히 작동하는 3상 AC 모터 구동 시스템에서는 제동 또는 작동 조건에 관계없이 AC 모터에 대한 3상 전류의 합계가 0이어야 합니다.(즉, $I_A + I_B + I_C = 0$)

두 위상에서 측정된 전류로 로우 엔드-미드 엔드 모터 드라이브의 3상 전류를 계산하면 비용을 절감할 수 있습니다. 3상의 전류를 모니터링하여 전기적 고장 이벤트를 감지하는 것이 좋습니다. 절연 증폭기나 절연 모듈레이터를 사용하여 3상에 전류 센서를 배치할 수 있지만 단순성, 비용 효과성과 솔루션 크기를 위해 강화 절연 윈도우 비교기 AMC23C12를 사용할 수도 있습니다. AMC23C12는 통합 윈도우 비교기로 양방향 과전류 감지를 제공합니다.

그림 6의 위치 1에 나와 있는 것처럼 셉트 레지스터는 AMC23C12 강화 윈도우 비교기가 감지하는 전압 강하를 생성합니다. AMC23C12에는 과전류 감지를 위해 입력 전압이 레퍼런스 핀 전압의 사전 정의된 임계값을 초과할 때

능동적으로 낮은 전압으로 끌어내리는 오픈 드레인 출력인 OUT이 있습니다. 그림 7에는 과전류 이벤트 출력 파형이 나와 있습니다.

과전류 및 단락 감지 모두에 대해 AMC23C14 듀얼 윈도우 비교기를 사용할 수 있습니다.

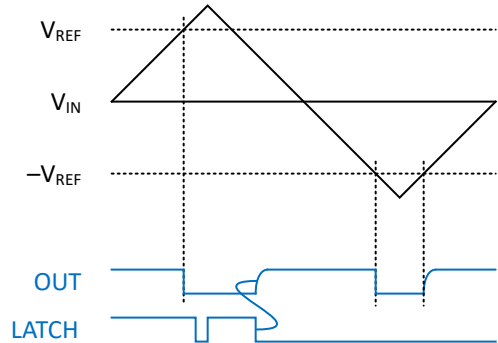


그림 7. AMC23C12 출력 파형.

활용 사례 2: DC+ 과전류 감지

그림 8의 위치 2에 나와 있듯이 AMC23C11은 DC+ 과전류 감지에 좋은 선택이 될 수 있습니다.

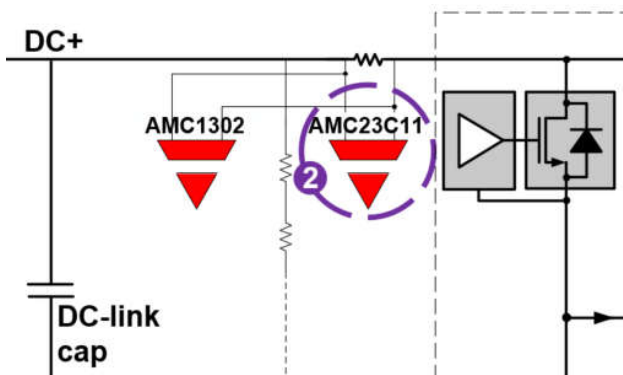


그림 8. DC+ 과전류 감지.

그림 9에는 과전류 이벤트 출력 파형이 나와 있습니다. AMC23C12와 마찬가지로 AMC23C11에는 입력 전압이 레퍼런스 핀 전압의 사전 정의된 임계값을 초과할 때 능동적으로 낮은 전압으로 끌어내리는 오픈 드레인 출력인 OUT이 있습니다. AMC23C11은 또한 래치가 지워진 후에만 출력을 해결하는 래치 입력 핀을 통해 래치 모드를 지원 합니다. 과전류 및 단락 감지가 모두 필요한 경우 AMC23C14를 사용하여 과전류 및 단락 감지에 대한 두 가지 임계값 수준을 각각 설정할 수 있습니다.

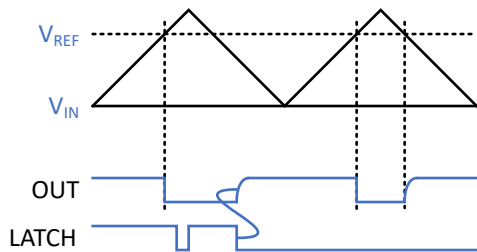


그림 9. AMC23C11 출력 파형.

활용 사례 3: DC - 과전류 또는 단락 감지

활용 사례 2에 설명된 세부 사항과 마찬가지로, AMC23C11을 사용하여 DC 라인의 과전류를 감지할 수도 있습니다. 과전류 및 단락 감지가 모두 필요한 경우 AMC23C14를 사용하여 과전류 및 단락 감지에 대한 두 가지 임계값 수준을 각각 설정할 수 있습니다.

활용 사례 4: DC 링크(DC+에서 DC-) 과전압 및 부족 전압 감지

DC 링크 전압은 모터 드라이브의 올바른 작동을 위해 지정된 범위 내에 있어야 합니다. AMC23C14는 과전압 및 부족 전압 조건을 감지하는데 좋은 선택이 될 수 있습니다.

그림 10의 위치 4에 나와 있듯이 저항 분할기 네트워크의 하단 저항은 AMC23C14 듀얼 강화 윈도우 비교기에 의해 감지되는 전압 강하를 생성합니다.

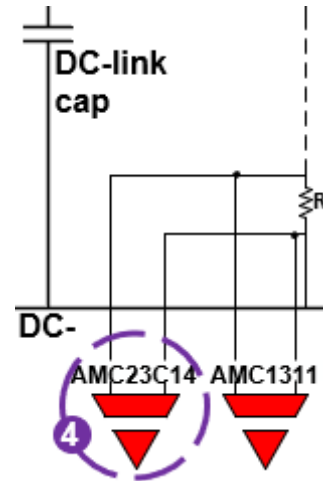


그림 10. DC 링크 과전압 및 부족 전압 감지.

AMC23C14에는 각 윈도우 비교기에 대해 하나씩 두 개의 오픈 드레인 출력인 OUT1 및 OUT2가 있습니다. OUT1은 입력 전압이 부족 전압 감지를 위해 레퍼런스 핀의 전압에 대한 사전 정의된 임계값 값을 초과하면 능동적으로 낮음으로 끌어내립니다. OUT2는 입력 전압이 과전압 감지를 위해 내부 300mV 레퍼런스에서 정의된 임계값을 초과하면 능동적으로 낮음으로 끌어내립니다. 그림 11에서는 과전압 및 부족 전압 이벤트에 대한 OUT1 및 OUT2 출력을 보여줍니다. 과전압 감지만 필요할 경우 AMC23C11을 사용할 수 있습니다.

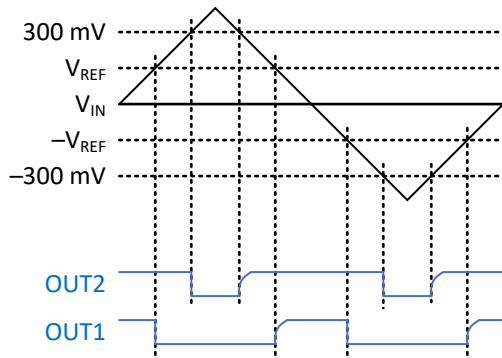


그림 11. AMC23C14 출력 파형.

활용 사례 5: IGBT 모듈 과열 감지

그림 12에서 보듯이 NTC(음의 온도 계수 서미스터)는 일반적으로 IGBT 모듈 내부에 배치하여 장기 과부하 조건을 감지합니다. 이러한 NTC 터미널은 메인 전력 보드로 라우팅되며, AMC23C14는 과열 감지에 사용할 수 있습니다.

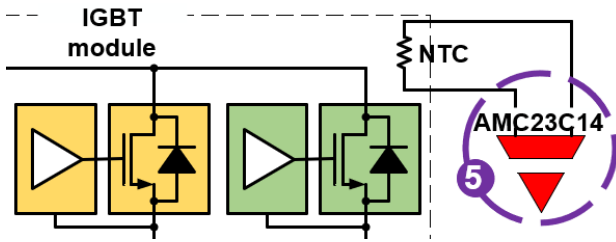


그림 12. IGBT 모듈 과열 감지.

그림 13에는 과열 이벤트의 출력 파형이 나와 있습니다. 여기서 OUT2는 입력 전압이 내부 300mV 참조로 정의된 임계값을 초과할 때 높음으로 끌어올립니다. AMC23C14의 레퍼런스 핀은 NTC를 바이어싱할 수 있는 100µA 전류 소스에 연결됩니다.

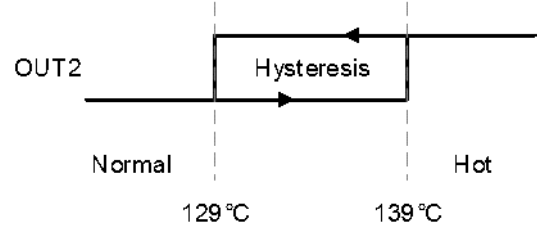


그림 13. AMC23C14 출력 파형.

시스템 안정성을 개선하고 더 빠른 스위칭 장치의 도입에 대한 요구가 증가함에 따라, 저지연 강화 절연 비교기인 AMC23C14 제품군은 전기 모터 드라이브의 정확하고 빠른 감지에 대한 중요한 요구 사항을 해결합니다

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated