

Technical Article

업계 최초의 48V 통합 핫 스왑(eFuse)으로 최신 AI 데이터 센터에 전력 공급



Kshitiz Khatri



고성능 컴퓨팅과 인공지능이 계속 성장함에 따라 데이터 센터에는 최신 중앙 처리 장치, GPU(그래픽 처리 장치) 및 하드웨어 가속기를 지원하기 위해 전력 밀도가 높고 효율적인 솔루션이 필요합니다. 처리 수요를 감당하기 위해 전력 밀도를 높이고 48V 전력 아키텍처로 전환해야 할 필요성으로 인해 새로운 과제가 발생했습니다. 특히 안정성, 효율성 및 확장성을 유지하면서 6kW 이상의 전력 레벨을 관리해야 합니다.

전력 요구 사항이 증가하면 솔루션 크기가 커지고, 설계가 복잡해지며, 장애 감지 및 보호의 비효율성이 높아지는 경우가 많습니다. 또한 안전한 작동과 최소한의 전력 손실을 보장하면서 높은 전류를 관리하는 것도 중요한 문제입니다. FET(개별 전계 효과 트랜지스터)와 결합된 기존의 핫 스왑 컨트롤러는 고전력 애플리케이션에서 상당한 한계에 직면하게 됩니다.

이러한 과제를 해결하기 위해, 전원 경로 보호를 지원하는 TI의 48V 핫 스왑 eFuse 장치는 데이터 센터 애플리케이션을 위한 안정적이고 컴팩트한 솔루션으로 설계되었습니다. 전류 모니터링을 위해 외부 감지 저항기와 전류 감지 증폭기가 필요한 접근 방식과 달리, TPS1689 및 **TPS1685**는 두 기능이 통합되어 설계가 간단하고 솔루션 크기가 50%까지 줄어들었기 때문에 높은 전력 수준을 지원할 수 있는 원활한 확장성을 구현할 수 있습니다.

TPS1689의 차별화된 기능으로는 블랭킹 타이머가 있으며, 시스템이 피크 부하 전류와 실제 오류 상태를 구분할 수 있도록 하여 잘못된 트립을 방지합니다. 이 기능은 시스템 안정성을 향상하고 불필요한 셧다운을 방지합니다. 전류 처리량을 높이기 위한 스테킹 기능도 지원하므로 고전력 애플리케이션에서 여러 장치를 함께 사용할 수 있습니다.

오류 로깅을 위한 통합 블랙박스, 보강된 FET 안전 작동 영역, 능동 전류 공유 및 상태 모니터링으로 시스템 복원력을 더욱 강화합니다. 업계 표준의 공통 풋프린트로 제공되는 TPS1689는 안정적인 작동을 보장하는 전원 관리 솔루션을 제공합니다.

서버 보호 및 성능 향상

블랭킹 타이머는 시스템 보호와 성능 최적화 사이의 균형을 유지하여 엔터프라이즈 서버 시스템에서 이점을 제공합니다. [그림 1](#)에서 볼 수 있듯이 이 기능을 사용하면 회로 차단기를 트리거하지 않고도 단기간의 과도 과부하의 패스스루가 가능하므로

AI, GPU 및 프로세서 집약적인 애플리케이션에서 흔히 발생하는 일시적인 고전류 부하 펄스가 시스템을 중단시키지 않습니다. 그러나 eFuse는 과전류가 지속되는 경우 즉시 회로를 차단합니다.

그 밖의 장점은 다음과 같습니다.

- 비용 최적화. 블랭킹 타이머는 특대형 PSU(전원 공급 장치)의 필요성을 최소화하고 병렬 구성에 필요한 eFuse의 수를 줄입니다. 따라서 안정적인 작동을 유지하면서 자재 명세서 비용을 크게 절감할 수 있습니다.
- 전력 밀도 개선. 고전류 운반 부품의 수와 크기를 줄임으로써 시스템을 더 컴팩트하게 설계하여 귀중한 PCB(인쇄 회로 보드) 공간을 확보하고 열 관리를 개선할 수 있습니다.
- 유연성 및 사용자 지정. 설계자는 프로그래밍 가능한 오류 간격으로 특정 과도 프로파일에 맞게 시스템 응답을 미세 조정하여 고유한 워크로드에 맞게 성능을 최적화할 수 있습니다.

Part doesn't shut off for short load transient (~1ms)

Part shuts off for persistent fault (>2.2ms)

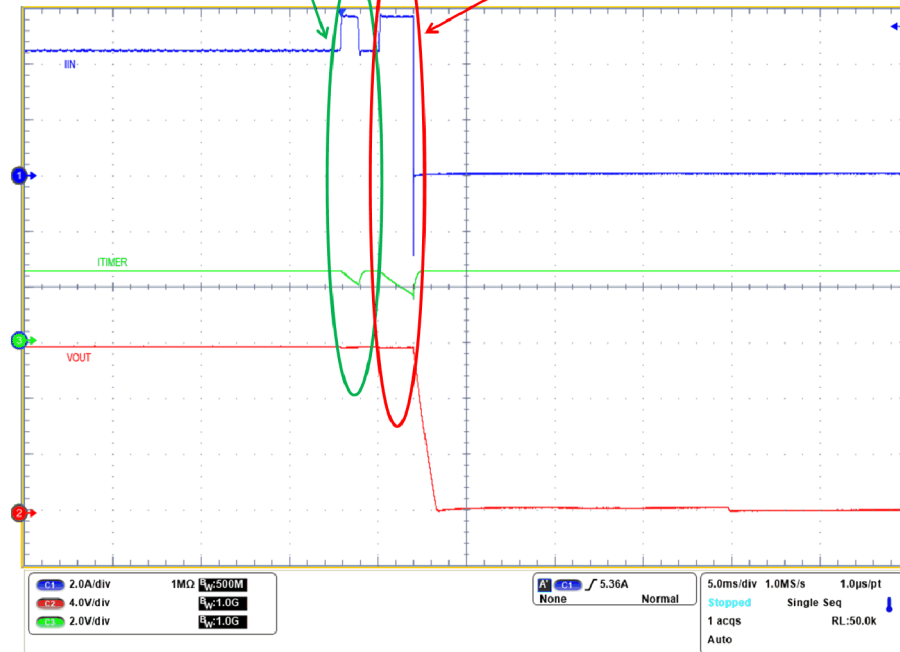


그림 1. 사용자 정의 블랭킹 후 과전류 응답(회로 차단기)

최대 과도 부하(일반적으로 1.7배)를 고려하지 않고 과전류 보호 임계값을 열 설계 전류의 1.1배로 설정할 수 있습니다. 이 접근 방식을 이용하면 PSU가 피크 과도 전류를 지원해야 하는 기존 설계에 비해 PSU의 크기와 비용이 줄어듭니다. 이러한 이점으로 인해 블랭킹 타이머는 고성능 서버 시스템의 핵심 기능으로 자리잡게 되었습니다.

고급 스택킹 및 전류 공유 솔루션

AI 기반 프로세서와 서버의 전력 수요가 증가함에 따라 효율적인 전력 분배 시스템이 필요하며, 스마트 eFuse가 중요한 역할을 하고 있습니다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 기존의 병렬 작동 방식은 드레인-소스 온 저항($R_{DS(on)}$), PCB 트레이스 저항 및 비교기 임계값의 불일치로 인해 상당한 문제를 야기합니다. 이러한 불일치로 인해 eFuse 간에 전류 공유가 고르지 않게 되고 (일부 eFuse가 다른 eFuse보다 더 많은 전류를 운반함), 전체 시스템 전류가 트립 임계값 미만인 경우에도 개별 eFuse가 조기 트립되는 경우가 종종 발생합니다. 잘못된 트립은 불필요한 시스템 다운타임, 안정성 저하, 운영 비효율성 증가로 이어질 수 있습니다.

이러한 과제를 해결하기 위해 TI는 상호 연결된 IMON 핀을 활용하는 전체 시스템 전류 제한 접근 방식을 eFuse에 도입했습니다. 이 접근 방식에서는 eFuse 하나를 전체 시스템 전류를 모니터링하는 기본 컨트롤러로 지정합니다. 개별 eFuse 전류가 아닌 총 전류에 의존하면 경로 저항 불일치로 인한 부정확성을 방지하고 필요한 경우에만 시스템이 작동하도록 하여 작동 안정성을 향상할 수 있습니다.

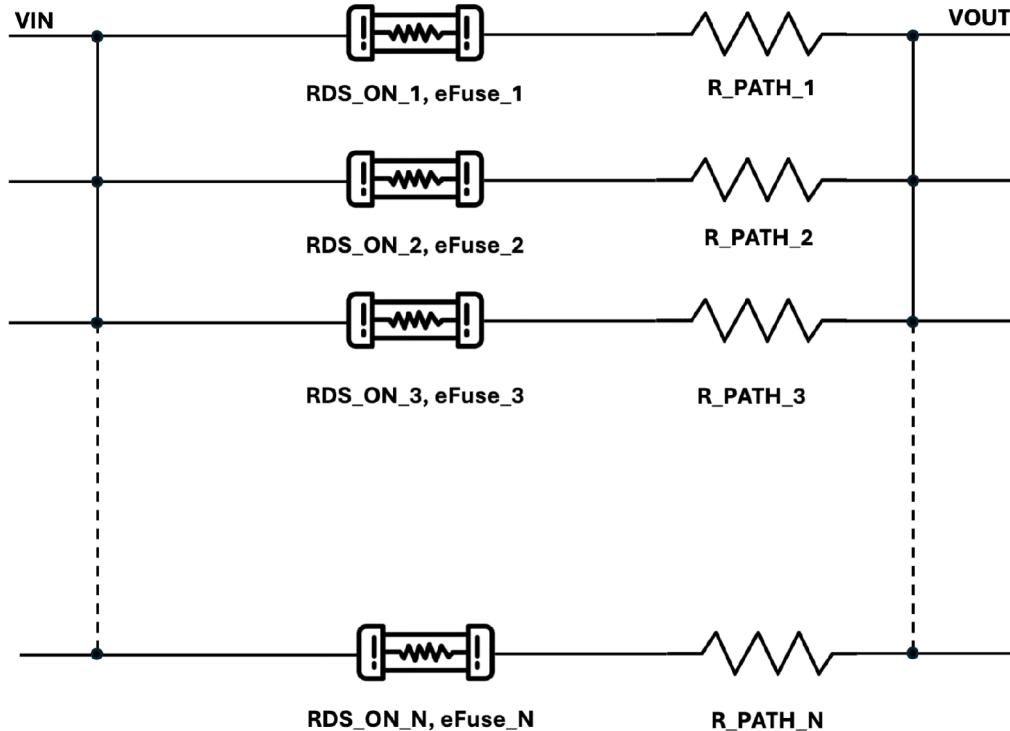


그림 2. 더 높은 전류 부하를 지원할 수 있는 eFuse 병렬 스택킹

능동 전류 공유 기술은 FET의 $R_{DS(on)}$ 를 동적으로 조정하고 eFuse 간에 균형 잡힌 전류 공유를 달성하여 효율적인 전력 분배를 돕습니다. 하나의 eFuse가 불균형하게 높은 전류를 전달하는 경우 $R_{DS(on)}$ 를 높이면 모든 장치에 전류가 약간 더 균등하게 재분배됩니다. 이렇게 동적으로 조절하면 개별 eFuse의 열 응력을 최소화하여 장기간에 걸쳐 시스템 안정성이 향상됩니다.

과전류 보호 임계값 근처에서 능동 전류 공유가 발생하도록 하면 더 낮은 전류에서 불필요한 전력 손실을 피하기 위해 필요할 때만 임계값이 작동합니다. 시스템은 최적의 임계값에서 능동 전류 공유를 활성화하여 고전류 작동 중에 균일한 열 응력 분배를 달성하여 장기적인 안정성을 개선합니다.

결론

핫 스왑 eFuse 장치는 전력 밀도 증가, 설계 간소화, 보호 기능 향상, 비용 최적화를 이용하여 고성능 컴퓨팅 애플리케이션의 전원을 더욱 효율적이고 안정적으로 관리합니다. 블랭킹 타이머 및 스택킹과 같은 기능이 통합되어 최신 AI 데이터 센터의 증가하는 전력 수요를 지원하기 위한 장치의 적합성이 더욱 강화됩니다.

추가 리소스

- **정확하고 빠르게 전류를 모니터링하는 TPS1685x 9V-80V, 3.65m Ω , 20A 스택형 통합 핫 스왑 (eFuse) 데이터시트**를 다운로드하십시오.

- "[eFuse EVM용 TPS1685 평가 모듈 사용 설명서](#)"를 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 침해에 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