

통합 절연 바이어스 모듈이 전력 밀도와 안정성을 개선하는 방법

Mark Allen Esquillo

Marketing Manager, High-Voltage Power

Carter Pollan

Applications Engineer, High-Voltage Power

소개

절연 바이어스 전원은 트랙션 인버터, 태양광 인버터, 데이터 센터 전원 공급 시스템과 같은 고성능 전력 전자 장치의 핵심 구성 요소지만, 이러한 전원은 전력 밀도와 개발 시간 사이의 절충이 필요합니다. 절연 DC/DC 설계는 개별 변압기와 스위칭 부품에 의존하므로 전력 밀도, 신뢰성 및 시장 출시 시간 요구 사항을 충족하는 데 있어 문제가 종종 발생합니다.

TI의 IsoShield™ 패키징 기술이 적용된 절연 바이어스 전원 모듈은 스위칭 FET(전계 효과 트랜지스터), 제어 회로 및 평면형 절연 변압기를 소형 패키지에 결합하여 이러한 과제를 해결합니다. 이 문서에서는 이러한 모듈이 전기적 및 환경적 간섭에 대한 내성을 향상하면서 보드 면적을 줄이는 동시에 최신 고전압 시스템에서 설계를 간소화하는 방법을 설명할 것입니다.

높은 전력 밀도로 솔루션 크기를 줄이는 동시에 EMI 요구 사항을 충족하는 방법

절연 바이어스 전원의 설계에는 보드 공간, 열 성능 및 전기 절연과 같은 여러 제약 조건의 균형을 맞춰야 하는 경우가 많습니다. 전기 자동차 트랙션 시스템 또는 데이터 센터 전원 아키텍처와 같은 애플리케이션에서는 고전압 도메인 ($\geq 800V$ 인 경우가 많음)과 저전압 제어 회로 간에 절연을 제공해야 합니다.

기존의 설계는 개별 플라이백 컨버터 토폴로지를 사용하여 절연 바이어스 전원을 구현합니다. 이러한 구현에서는 일반적으로 변압기가 PCB(인쇄 회로 보드)에서 가장 큰 부품이며, 달성 가능한 전력 밀도가 제한되고 솔루션 높이가 증가합니다.

IsoShield 기술을 적용한 절연 바이어스 전원 모듈은 패키지 내부에 직접 평면 변압기를 통합하고(그림 1에 나타나 있음) 독점적인 본딩 연결을 사용하는 다중 칩 솔루션을 통해 매우 작은 절연 모듈을 구현함으로써 시스템 설계에서 최적화된 크기 요구 사항을 충족하는 고전력 밀도를 실현합니다.

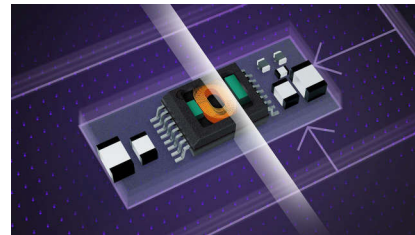


그림 1. 통합 평면 변압기를 사용하는 절연 전원 모듈

중간 전압용 **UCC34141-Q1**과 저전압용 **UCC33420-Q1**은 약 1.5W의 절연 출력 전력을 제공합니다. 전자는 5.85mm x 7.50mm x 2.65mm SOIC(소형 아웃라인 집적 회로) 패키지로 제공되며 후자는 4mm x 5mm x 1mm의 WSON(초소형 무리드 아웃라인) 패키지로 제공됩니다.

이러한 전원 모듈은 변압기와 스위칭 부품을 통합함으로써 개별 플라이백 구현 대비 바이어스 전원 솔루션 면적을 약 70%, 기존 통합 변압기 솔루션 대비 35% 이상 줄일 수 있습니다. 이러한 감소는 300% 이상의 전력 밀도 개선으로 이어집니다.

풋프린트 감소 외에도 수직 프로파일이 크게 줄어듭니다. 기존 설계에서 가장 높은 부품인 개별 변압기를 제거하면 모듈 높이를 1mm까지 낮출 수 있고, 이는 공간이 제약된 애플리케이션에 특히 유용합니다. 그림 2은(는) 개별 플라이백 컨버터 구현(좌측)에서 완전 통합 솔루션(우측)으로 전환할 때의 솔루션 면적 감소를 보여줍니다.

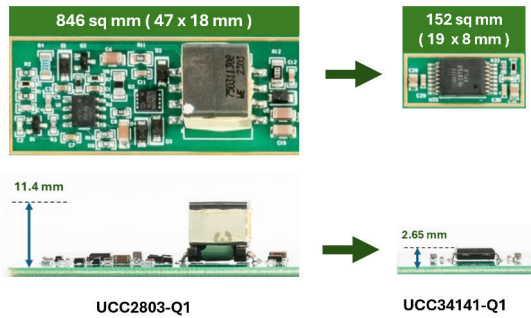


그림 2. 개별 솔루션과 완전 통합 절연 모듈의 상면도 및 측면도 비교

열 성능과 EMI(전자기 간섭)는 고밀도 솔루션과 관련된 경우가 많습니다. 그러나 최적화된 패키징 및 내부 레이아웃은 최소 필터링만 사용하여 CISPR(Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) 25 및 CISPR 32를 준수하면서 열 소실을 기존 모듈 대비 30%까지 개선할 수 있습니다(그림 3).



그림 3. CISPR 25 방사 방출 데이터(Pout = 1W)

표준 절연 바이어스 전원을 위한 EMI 솔루션을 설계하는 것은 간단하지 않은 작업입니다. 비용이 많이 드는 필터링 부품과 개별 구현 방식 고유의 필터링 요건 사이에서 균형을 맞추려면 경험, 시간 및 테스트가 필요합니다. 통합 솔루션의 특성상 필터링 요건이 훨씬 더 표준화되어 있습니다. TI는 이 점을 활용하여 CISPR 표준을 통과하는 EMI 솔루션 구현 방법을 설명하는 애플리케이션 노트를 개발했습니다.

그림 4에 나타난 레이아웃은 작은 솔루션과 필터 크기로 CISPR 25 클래스 5 요건을 충족합니다. 몇 가지 레이아웃 기법과 결합하면 CISPR 25 클래스 5를 통과하는 데 필요한 추가 BOM 부품이 매우 적습니다. 이 예에서는 강조 표시된 커패시터, 인덕터, 페라이트 비드를 사용합니다.

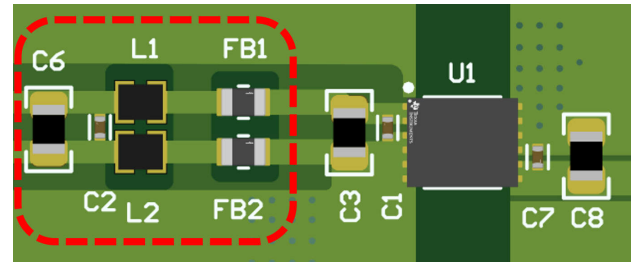


그림 4. 작은 솔루션과 필터 크기로 CISPR 25 클래스 5 요건을 충족

여러 레이아웃 기술로 필터링 부품 수를 더욱 줄일 수 있습니다. 고주파 필터링 커패시터 C1 및 C7을 IC에 매우 가깝게 배치하면 고주파 잡음을 최소화할 수 있습니다. 필터링 인덕터와 페라이트 비드 아래의 구리를 제거하면 기생을 통한 누설이 최소화되고, 인쇄 회로 보드의 하단 레이어에서 접지면을 확장하면 패러데이 케이지가 생성됩니다.

향상된 시스템 내구성 및 안정성

고전력 시스템은 전기적으로 잡음이 많고 물리적으로 열악한 환경에서 작동합니다. 바이어스 전원은 빠른 스위칭 전환, 강력한 자기장 및 기계적 진동에도 안정적인 작동을 유지해야 합니다. IsoShield 기술이 적용된 통합 바이어스 전원 모듈은 여러 내성 메커니즘을 통해 이러한 과제를 해결합니다.

CMTI

최신 전력계의 빠른 스위칭 전환은 특히 광대역 밴드갭 장치를 사용하는 경우 나노초당 수백 볼트를 초과하는 전압 회전율을 생성할 수 있습니다. 기생 커패시턴스가 큰 절연 장벽은 이러한 잡음을 장벽 너머로 커플링할 수 있습니다.

IsoShield 기술이 적용된 모듈은 1차 권선과 2차 권선 사이의 기생 커패시턴스를 3pF 미만으로 최소화하여 약 250V/ns의 CMTI(공통 모드 과도 내성)를 실현하고, 트랜션 인버터 또는 모터 드라이브와 같은 고전압 회전율 환경에서도 안정적인 작동이 가능합니다.

엔지니어가 이미 장치 및 시스템 수준 테스트를 모두 완료했기 때문에 통합 솔루션을 사용하면 개별 절연 바이어스 전원 대비 CMTI 테스트의 위험을 크게 낮출 수 있습니다. 개별 솔루션을 사용할 때는 CMTI 결과가 애플리케이션마다 다를 수 있는 반면, 통합 솔루션은 더 일관된 결과를 제공합니다.

방사 내성

인근 스위칭 노드에서 발생하는 고주파 전자기장은 제어 전자 장치를 교란할 수 있습니다. IsoShield 기술이 적용된 통합 모듈은 광범위한 주파수 범위에서 강한 EMI를 견딜 수 있어, 10MHz~1GHz의 주파수 범위에서 100V/m을 초과하는 전자기장 환경에서도 연속 작동을 보여줍니다. 이 모듈은 CISPR 25의 요건을 충족하고 추가 차폐나 복잡한 필터링 없이 IEC(국제전기기술위원회) 61000-4-3에 따라 정의된 한계를 초과하는 성능을 보입니다.

자기장 내성

트랙션 인버터의 버스 바와 같은 고전류 도체는 외부 자기 구조 때문에 개별 변압기 기반 전원에 영향을 줄 수 있는 강력한 자기장을 생성할 수 있습니다. IsoShield 기술이 적용된 모듈은 100mT를 초과하는 자기장에서도 작동하므로, 의료 이미징 시스템과 같은 고전류 전력 경로 또는 대형 자기 구조에 근접한 경우에도 안정적인 성능을 보장합니다.

진동 내성

기계적 진동은 자동차 및 산업 환경에서 흔히 발생하는 과제입니다. 대형 개별 변압기는 솔더 연결부와 PCB 패드에 기계적 응력을 유발할 수 있어 안정성 문제가 발생할 수 있습니다. 통합 바이어스 전원 모듈의 소형 폼 팩터와 낮은 프로파일은 개별 변압기 구현 대비 솔더 연결부의 기계적 토크를 90% 이상 줄여 진동 내성을 크게 향상시킵니다.

설계 사이클 단축

변압기를 선택하고 설계하는 것은 절연 전원 공급 장치 개발의 가장 까다로운 측면 중 하나입니다. 권선 구성 및 라우팅, 누설 인덕턴스 및 커플링, 기생 커패시턴스, 열 특성 및 기계 패키징을 포함한 수많은 설계 매개 변수의 균형을 맞춰야 합니다. 맞춤형 변압기 개발은 설계 복잡도를 크게 높이고 제품 개발 일정을 연장시킬 수 있습니다.

통합 바이어스 전원 모듈은 변압기, 스위칭 FET 및 지원 패시브 부품을 단일 장치에 결합하여 이러한 작업의 상당 부분을 제거합니다. 이러한 통합은 부품 수를 줄이고 시스템 설계를 간소화합니다. 서버 전원 공급 장치 및 배터리 백업 유닛의 경우, 이러한 설계 복잡도 감소는 시장 출시 시간을 크게 단축합니다.

결론

전기 자동차, 인공지능 기반 데이터 센터, 재생 에너지 시스템과 같은 애플리케이션에서 전력 수요가 계속 증가함에 따라 점점 더 제한되는 폼 팩터 내에서 더 높은 성능을 구현해야 한다는 하는 압박이 심해지고 있습니다. 설계자는 더 이상 단일 매개 변수만을 최적화하는 것이 아니라 전력 밀도, 효율성, 안정성 및 개발 속도를 동시에 균형 있게 고려해야 합니다.

IsoShield 기술 기반 통합 절연 바이어스 전원 모듈은 이러한 설계 패러다임을 근본적으로 전환합니다. 변압기, 스위칭 요소 및 절연 장벽을 작고 최적화된 패키지에 내장함으로써, 이 솔루션은 개별 구현 방식에서 오는 기존의 많은 절충점을 제거하여 솔루션 크기와 복잡도를 크게 줄이는 동시에 전기 내성, 열 성능 및 안정성을 향상시킵니다.

이러한 높은 수준의 통합을 통해 설계 주기를 더욱 빠르고 예측 가능하게 만들 수 있다는 점 역시 중요합니다. 엔지니어는 기존 아키텍처의 상당 부분을 재활용하는 동시에 맞춤형 자기 부품 및 광범위한 검증의 필요성을 줄여 성능 저하 없이 시장 출시 시간을 단축할 수 있습니다.

작성자 소개

Mark Allen Esquillo는 고전압 전력 사업부의 마케팅 매니저로, 고도로 차별화된 절연 게이트 드라이버와 바이어스 솔루션을 다루고 있습니다. 제품 개발, 마케팅, 시스템/애플리케이션 엔지니어링 및 운영 전반에서 30년 이상의 경력을 쌓았습니다. Mark Allen은 일본의 일본 공학대학에서 기전공학 학사 학위를, 필리핀 마푸아 공과대학에서 전기공학 학사 학위를 취득했습니다.

Carter Pollan은 텍사스 인스트루먼트의 애플리케이션 엔지니어로, 차량용 및 산업용 시스템에서 통합 절연 바이어스 및 절연 게이트 드라이버 애플리케이션을 지원하고 있습니다. 브리검 영 대학교에서 전기공학 학사 학위를 취득했습니다.

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.

IsoShield™ is a trademark of Texas Instruments.
모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on 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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025