

Technical Article

통합 GaN 컨버터가 고전류 전원 공급 장치 설계를 재정의하는 4가지 방법



- GaN 통합은 스위칭 손실 감소, 혁신적인 회로 기술, 부품 통합 및 열 성능 향상을 주도합니다.
- 중간 전압 GaN 통합 벅 및 부스트 컨버터는 효율을 유지하면서도 실리콘 방식에 비해 최대 50% 더 작은 풋프린트를 달성합니다.



높은 전력 밀도에 대한 요구는 고전류 전원 공급 장치의 모든 주요 설계 결정에 계속해서 영향을 미치고 있습니다. 데이터 센터와 컴퓨팅 인프라는 기존의 전력 아키텍처에 부담을 줄 정도의 속도로 성장하고 있습니다. 로봇 공학에서 테스트 및 측정 장비에 이르기까지, 엔지니어들은 동일한 근본적인 과제에 직면해 있습니다. 바로 효율을 유지하면서 더 좁은 공간에서 더 많은 전력을 공급하는 것입니다.

수년 동안 실리콘 기반 스위칭 컨버터와 개별 전원 FET 설계는 중간 전압, 고전류 애플리케이션에서 가능한 한계를 넓혀왔습니다. 하지만 스위칭 주파수가 높아지고 풋프린트가 작아짐에 따라, 실리콘 FET의 근본적인 한계인 높은 온-상태 저항, 역복구 손실, 더 큰 기생 전하 등이 설계 목표 달성의 심각한 장벽이 되고 있습니다. 전력 전자 업계는 고전류 전원 공급 장치 설계를 위한 입증된 대안으로서 GaN(질화갈륨) 기술에 투자, 개발 및 검증하는 데 15년 이상을 보냈습니다.

GaN 전력 FET는 실리콘 제품보다 근본적으로 더 나은 전기적 특성을 가지고 있으며, 고도의 통합이 가능합니다. 전력 FET, 게이트 드라이버, 컨트롤러와 패시브 부품을 하나의 컴팩트한 패키지로 결합하면 실리콘 방식으로는 따라올 수 없는 정도로 효율과 전력 밀도를 극대화할 수 있습니다. TI의 중간 전압 GaN MCM(멀티칩 모듈) IC(집적 회로) 중 LMG708B0 80V 벅 컨버터와 LMG5126 42V 부스트 컨버터는 효율을 유지하면서도 실리콘 솔루션보다 풋프린트를 최대 50%까지 줄여, 일반적으로 20A 이상의 고전류 애플리케이션 설계 요구 사항을 충족합니다.

고전류 DC/DC 컨버터 설계의 요구 사항을 충족하려면 다음과 같은 4가지 주요 GaN 발전을 가능하게 하는 **장단점과 기술을 이해**해야 합니다.

1. 스위치 전력 손실 감소
2. 혁신적인 회로 기술 채택
3. 부품 통합 수용
4. 패키지 열 성능 향상

GaN을 통해 가능해진 이러한 각 발전 사항을 간략히 살펴보겠습니다.

1. 스위치 전력 손실 감소를 통한 고주파수 구현 및 패시브 부품 소형화

항상 모드 GaN 전력 FET의 WBG(넓은 밴드갭) 특성과 수평형 구조는 실리콘 전력 장치에 비해 더 낮은 드레인-to-소스 온저항 $R_{DS(on)}$ 과 더 낮은 기생 전하(게이트 전하 $[Q_G]$, 게이트-드레인 전하 $[Q_{GD}]$, 출력 전하 $[Q_{OSS}]$)를 제공합니다. 결과적으로 성능 지표인 $R_{DS(on)} \times Q_G$ 및 $R_{DS(on)} \times Q_{OSS}$ 또한 크게 향상됩니다.

GaN FET는 바디 다이오드와 그에 따른 역복구 전하 $[Q_{RR}]$ 를 제거하여 주파수에 비례하는 역복구 손실을 없애는 동시에, 스위치 노드 전압 링잉과 관련 EMI(전자기 간섭)를 줄여줍니다. 예측 타이밍 기술이 적용된 GaN 전용 게이트 드라이버는 약 4ns의 데드타임을 구현하여 스위치 정류 시 전력 손실을 더욱 최소화합니다.

GaN 기반 컨버터는 낮은 전도 손실 외에도 향상된 스위칭 성능과 감소된 기생 성분 덕분에 전체 전력 소모를 줄여주며, 이를 통해 스위칭 주파수를 높이고, 자기 부품과 패시브 부품의 크기를 줄이고, 방열판을 줄이거나 없앨 수 있습니다. 따라서 효율 성능을 저하시키지 않으면서 전반적으로 시스템 풋프린트가 작아집니다. **그림 1**에서 고전류 DC/DC **벅** 및 **부스트** 컨버터 설계의 효율 성능을 확인할 수 있습니다.

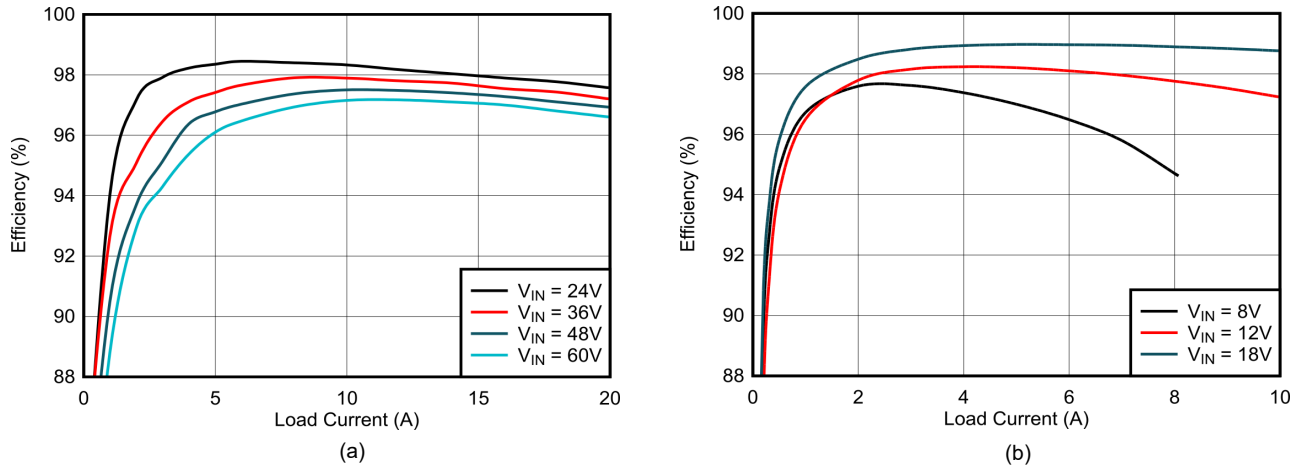


그림 1. GaN 벅 컨버터 효율, $V_{OUT} = 12V$ (a), GaN 부스트 컨버터 효율, $V_{OUT} = 24V$ (b)

2. 확장성 구현 및 경부하 효율 개선을 위한 혁신적 회로 기술 채택

다중 위상 적응형 토폴로지는 전류 용량을 수 배 더 높게 확장할 수 있는 능력을 제공하며, 위상 삭감 기능을 통해 경부하 효율을 높임으로써 고전류 애플리케이션의 설계 유연성을 강화합니다. 이를 위해 LMG708B0 GaN 벅 컨버터는 위상 간의 데이터 체인 연결을 사용하여 주파수와 위상 정보를 모두 전달하는 지능형 다중 위상 클록 SYNC 기능을 갖추고 있습니다. 결과적으로 발생하는 인터리빙 효과는 입력 리플 전류와 EMI 필터 크기를 줄여줍니다.

그림 2는 30mm x 25mm 크기의 단면 레이아웃에 구현된 $48V_{IN} \sim 5V_{OUT}$, 40A, 500kHz 사양의 2상 설계를 보여줍니다. 이는 기존 실리콘 기반 설계와 비교했을 때 구현 크기를 절반으로 줄인 것입니다.

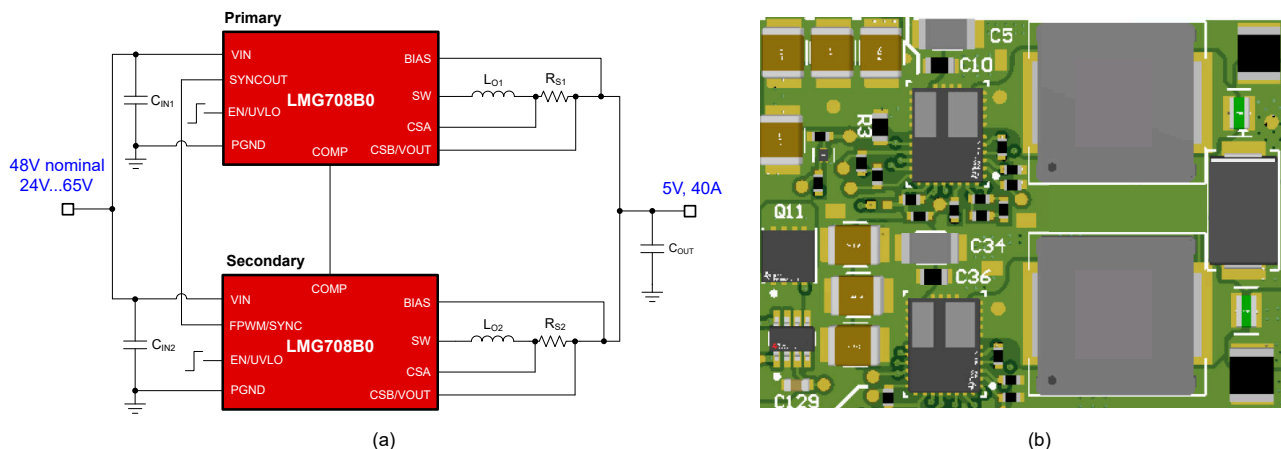


그림 2. 간소화된 2상 벅 컨버터 회로도 (a), 고밀도 레이아웃 (b)

3. 액티브 부품과 패시브 부품 모두의 통합 수용

기존의 중간 전압(12V~80V) 고전류(> 20A) 벅 및 부스트 레귤레이터에는 일반적으로 고압측 및 저압측 FET, 게이트 드라이버, 부트스트랩 회로 및 컨트롤러를 포함한 4개 이상의 개별 전력 부품이 필요합니다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, TI의 MCM 통합 방식은 FCRLF(Flip-Chip Routable Leadframe) 패키징 기술을 사용하여 4개의 다이(GaN FET 2개, 컨트롤러 및 부트스트랩 커패시터)를 4.5mm x 6mm x 0.8mm 크기의 22핀 패키지 하나로 통합합니다. 이러한 FCRLF 패키징 구조는 FET 전력 단자와 하부 PCB 솔더 패드 사이의 기생 인덕턴스를 최소화하여 스위칭 성능을 직접적으로 향상시킵니다.

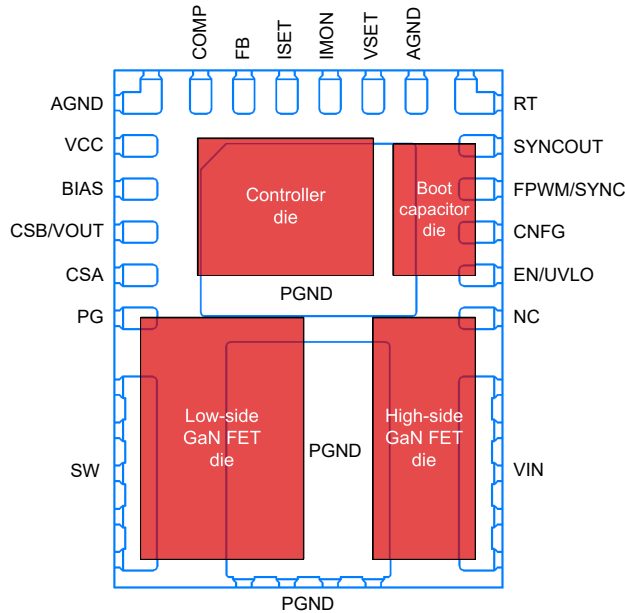


그림 3. 부품 통합을 통한 전력 밀도 향상

통합 기술은 전력 루프와 게이트 루프의 스위칭 영역을 좁혀 더 낮은 EMI 특성을 만들어냅니다. 그 결과 유도성 기생 성분이 감소하여 링잉이 없는 더 깨끗한 스위칭 파형을 얻을 수 있습니다. 이는 GaN 스위칭 성능의 핵심인 높은 회전율 전압과 전류에 필수적입니다. 이러한 통합의 이점들이 결합되어 효율 및 크기와 직결된 성능 지표에 맞게 설계를 최적화할 수 있습니다.

4. 패키지 열 성능 향상

LMG708B0 및 LMG5126 GaN 컨버터에 적용된 FCRLF 패키징 기술은 이중 열 흐름 경로를 갖춘 열 강화 패키지를 지원합니다. 두 GaN FET 다이의 뒷면이 패키지 상단에 노출되어 있어, 상단과 하단 모두에 열 안착 패드가 형성됩니다. 따라서 소자 상단에 방열판을 장착하여 선택적으로 양면 냉각을 구현할 수 있습니다(그림 4 참조).

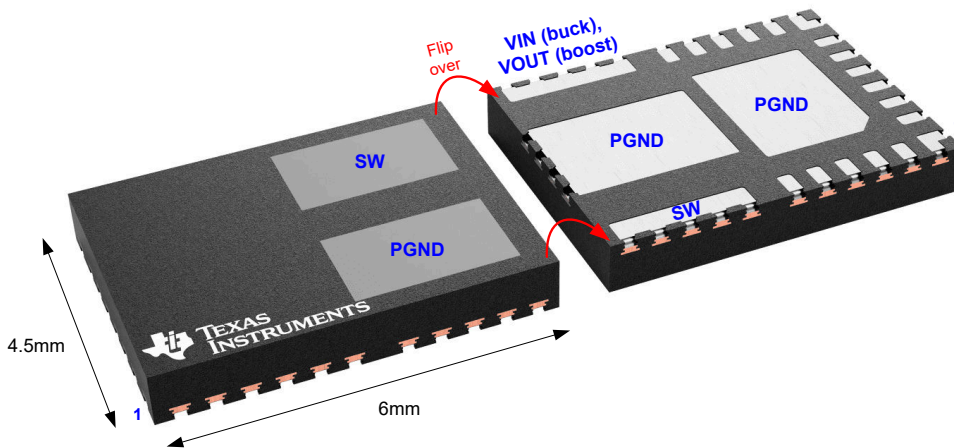


그림 4. 열 강화 패키지의 상단 및 하단 모습

방열판이 없으면 대부분의 열이 하단 열 패드(PGND)와 퓨즈 열 바(VIN 또는 VOUT, SW)를 통해 다층 보드와 주변 환경으로 방출됩니다. 반면 방열판을 장착하면 열이 IC에서 보드 쪽으로 전달됨과 동시에 패키지 케이스 상단에 노출된 열 패드(SW, PGND)를 통해 반대 방향인 장착된 방열판으로도 흘러가 상단 냉각이 이루어집니다.

그림 5에서 볼 수 있듯이, 이는 접합부와 주변 환경 사이에 병렬 열 저항 경로를 형성하여 유효 열 저항을 낮춥니다. 그 결과 동일한 IC 전력 손실에서도 작동 온도를 낮추고, 정해진 케이스 온도 설정값 내에서 더 높은 전류 처리 능력을 확보할 수 있게 됩니다.

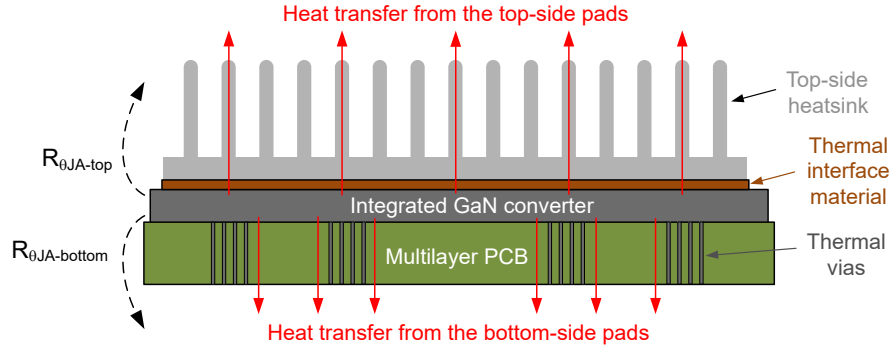


그림 5. 낮은 열 임피던스를 위한 이중 열 흐름 경로의 그림

결론

스위치 손실 감소, 혁신적 회로 기술 채택, 부품 통합의 발전, 그리고 패키지 열 성능 개선을 통해 통합 GaN 컨버터는 실리콘 기반 설계로는 더 이상 해결할 수 없는 전력 밀도의 장벽을 극복하도록 도와줍니다. 12V에서 80V 사이의 DC/DC 변환 영역에서 더 높은 주파수와 더 큰 전력 밀도로 작동하는 통합 GaN 컨버터는 실리콘 기반 방식보다 최대 50% 더 작은 풋프린트로 탁월한 효율을 발휘합니다.

추가 리소스

- LMG708B0 벡 컨버터 EVM(평가 모듈): [20A 단상 및 40A 2상](#) 구성과 LMG5126 [15A 부스트 컨버터 EVM](#)으로 GaN 성능을 평가해 보십시오.
- 레퍼런스 설계 살펴보기: 통합 GaN이 적용된 48V_{IN}, 960W, 4상 벡 컨버터 [레퍼런스 설계](#)와 3V~42V 동기 GaN 부스트 컨버터 [레퍼런스 설계](#)를 살펴보십시오.
- 계산기 툴 다운로드: [LMG708B0](#) 및 [LMG5126](#) 컨버터용 빠른 시작 계산기 툴을 다운로드하십시오.

작성자 소개

Timothy Hegarty는 텍사스 인스트루먼트 스위칭 레귤레이터 사업부의 선임 기술 직원입니다. Timothy는 25년 이상의 전력 관리 엔지니어링 경험을 바탕으로 다양한 컨퍼런스 논문, 기사, 세미나, 백서 및 애플리케이션 노트를 집필했습니다. 현재 그는 차량용, 산업용 및 데이터 센터 애플리케이션을 위한 넓은 입력 전압 범위를 가진 고밀도, 저 EMI 스위칭 레귤레이터를 위한 기술을 구현하는 데 주력하고 있습니다.

상표

모든 상표는 해당 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 명시적 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 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 [TI의 판매 약관](#), [TI의 일반 품질 지침](#) 또는 [ti.com](#) 이나 해당 TI 제품과 함께 제공되는 기타 조건의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다. TI가 명시적으로 제품을 사용자 정의 또는 고객 정의용으로 지정하지 않는 한, TI 제품은 범용의 표준 카탈로그 장치입니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 어떠한 추가적이거나 상이한 조건도 반대하며 이를 거부합니다.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

최종 업데이트: 2025/10/25

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