

## Technical Article

**TOLL GaN으로 태양광 에너지 시스템의 경계 넓히기**

Sai Madhav, Poorva Moharil



태양광 에너지 시스템은 태양의 에너지를 가능한 한 효율적으로 활용하도록 설계된, 기술 혁신의 중심을 차지하는 태양광 인버터의 성능으로 동력을 얻고 있습니다.

이러한 혁신에는 GaN(질화 갈륨)의 사용이 포함되며, 이는 빠른 속도로 Si(실리콘) 및 IGBT(절연 게이트 양극 트랜지스터) 시스템을 대체하고 있습니다. GaN은 더 높은 효율성, 더 낮은 열 손실, 더 작은 크기, 쉬운 설치 및 더 낮은 전체 시스템 비용 면에서 태양광 에너지 시스템의 성능을 더 높이는 데 기여하고 있습니다.

**GaN, SiC 및 IGBT 비교**

GaN은 다이 면적당 더 나은 저항( $R_{sp}$ ), 더 낮은 입력 및 출력 커패시턴스( $C_{iss}$  및  $C_{oss}$ ) 및 제로 역복구 전하 특성을 통해 전력 변환 시스템의 성능을 개선합니다. 이러한 특성은 스위칭 주파수 증가로 전도 손실과 스위칭 손실을 낮추어, 결과적으로 패시브 부품의 크기를 줄이고 시스템을 가볍고 작게 만드는 데 가장 중요합니다.

연구원들은 제조,  $R_{sp}$  및 패키징의 개선을 통해 GaN의 잠재력을 극대화하기 위해 적극적으로 노력하고 있습니다. 예를 들어, 표 1에서 보듯이 TOLL(Transistor Outlines Leadless) 표면 실장 패키지는 이중 데카와트 패키지(D2PAK) 또는 TO(Transistor Outline)-247 패키지와 같은 표면 실장 패키지에 비해 열 성능이 개선되고 기생이 적습니다.

**표 1. TO-247, D2PAK, TOLL 패키지 GaN 장치의 열 저항 값**

패키지	패키지 크기	$R_{DSon}$	$R_{θJC}$
TO-247	21.0mm × 15.8mm	50mΩ	0.95
D2PAK	9.15mm × 10.16mm	50mΩ	1.05
TOLL	9.8mm × 11.6mm	70mΩ	0.73

## TOLL 패키징 소개

리드리스 패키지인 TOLL 패키지의 기생 인덕턴스는 매우 낮아 스위칭이 더 빠르고(스위칭 손실 감소), 회전율이 더 높으며, 전자기 간섭이 더 적습니다. TOLL 패키지의 치수는 9.9mm x 11.68mm x 2.3mm로, 15.94mm x 20.95mm x 5.02mm의 TO-247에 비해 훨씬 더 작으며, 인쇄 회로 보드 상에서 70% 더 많은 면적 활용이 가능합니다. 최적화된 GaN 프로세스를 통해 고전력 애플리케이션에 적합한 드레인-소스 온 저항(RDS(on))이 매우 낮은 GaN FET(전계 효과 트랜지스터)를 구현할 수 있습니다. TOLL 패키지의 소형화된 크기는 방열을 더 빠르게 하여 열 효율을 향상시킵니다.

GaN FET를 드라이버와 통합하면 효율성이 향상되고 비용은 절감되며, 게이트 인덕턴스 루프를 줄이고, 전력계에 과전류 및 과열 보호 기능을 내장할 수 있습니다. TOLL 패키지의 장점은 통합을 통해 가치가 더 커지므로 기생을 줄이고 시스템 비용을 절감하는 데 도움이 됩니다. TI의 [LMG3650](#)과 같은 장치는 통합과 열 효율적인 패키징의 이점을 결합하며, 열 성능이 주요 고려 사항인 고전압 전력 변환 시스템에서 사용할 수 있습니다. 특히 능동 냉각이 어려운 경우 더욱 그렇습니다.

## 에너지 인프라 애플리케이션의 TOLL

태양광 마이크로 인버터, 스트링 인버터 및 에너지 저장 시스템에는 각각 상업용 및 주거용 환경에서의 요구 사항에 따라 효율성, 크기 및 비용에 민감한 전력 변환 단계가 있습니다.

태양광 에너지 애플리케이션에서 인버터 출력은 AC 그리드에 연결되는 경우가 많으며 FET는 최대 650V의 정격 전압을 견딜 수 있어야 합니다. 또한 이러한 인버터는 주거용 또는 상업용 시스템에서 구현할 수 있는 유연성을 갖도록 가능한 한 작아야 합니다. 고전압 GaN FET는 정격 800V의 최대 절대값 전압을 견딜 수 있으며, 스위칭 주파수를 높여 패시브 부품의 크기를 줄임으로써 고전압과 크기의 시스템 요구 사항을 모두 충족합니다. 열 효율이 높은 TOLL 패키지는 시스템의 주변 온도가 실온보다 높고 효과적인 열 방출이 중요한 태양광 에너지 애플리케이션에 적합합니다.

LMG3650의 통합 전력계에는 과열 보호, 과전류 보호 및 부족 전압 록아웃과 같은 보호 기능이 포함되어 있어 외부 보호 회로가 필요하지 않아 설계 복잡성과 크기를 모두 줄일 수 있습니다. 이 제품은 제로 전압 감지 및 제로 크로싱 감지와 같은 고급 기능을 통해 데드 타임을 최적화하고 손실을 줄이며, 전류 소스 기능을 위한 5V 저손실 레귤레이터 출력을 통해 모든 보조 회로를 구동할 수 있습니다. 이러한 기능은 에너지 변환 시스템의 성능과 비용을 최적화하는 데 기여합니다.

[600W GaN 기반 단상 사이클로 컨버터 레퍼런스 설계](#)에서는 사이클로 컨버터 토폴로지를 사용하며, 고전압 측에서 LMG3650을, 저전압 측에서는 LMG2100을 사용합니다. 이 레퍼런스 설계는 전력 밀도 640W/L, 피크 효율 96.1%이며 최대 600kHz의 스위칭 주파수에서 작동하는 통합 GaN 장치의 잠재력을 강조합니다.

## TOLL 장치를 이용한 설계

설계에 적합한 GaN 장치를 선택하는 것은 스위칭 및 전도 손실을 줄여 시스템 성능을 향상시키는데 필수적입니다. 더 낮은 RDS(on) 장치를 사용하는 것은 더 큰 GaN 다이가 필요하기 때문에 출력 커패시턴스를 높이고 스위칭 손실 및 비용을 증가 시켜 효율성 개선을 위한 원스톱 솔루션이 아닐 수 있습니다.

하드 스위칭 토폴로지에서는 Coss가 더 높은 낮은 RDS(on)는 전도 손실보다 높은 스위칭 손실이 발생하며, 소프트 스위칭 토폴로지의 경우 낮은 RDS(on)는 효율을 높이고 매우 낮은 스위칭 및 전도 손실을 보여줍니다.

설계자에게 있어 또 다른 관심사는 다중 소싱 기능입니다. TI의 통합형 TOLL GaN 장치는 개별 TOLL GaN 장치와 패키지가 호환되어, 고객에게 다중 소싱 옵션을 제공합니다. 그림 1과 같이 회로도와 레이아웃을 동일하게 유지해 사소한 부품 변경만 진행하면 개별 장치와 동일한 보드에 TI TOLL 장치를 적용할 수 있습니다.

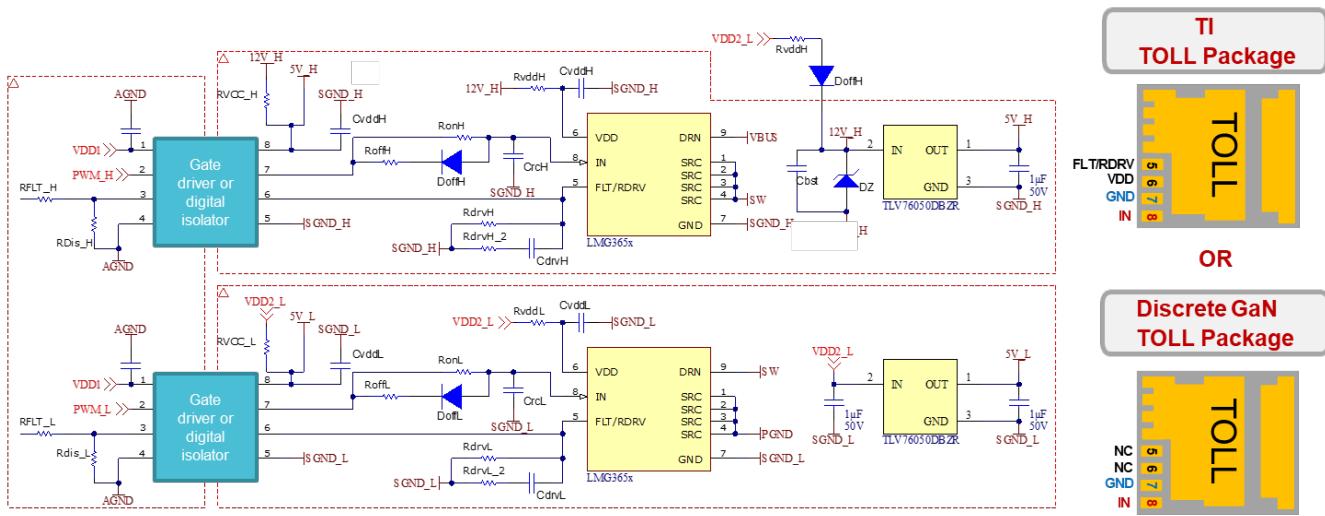


그림 1. TI 및 개별 TOLL GaN 패키지의 회로도

## 결론

전력 수요가 계속 증가함에 따라 GaN 장치를 채택하면 전력 변환 시스템의 성능, 비용 및 크기를 개선할 수 있습니다. TOLL 패키지의 GaN 장치는 업계 표준 패키지의 효율성, 소형화 및 열 성능이 필요한 태양광 에너지 애플리케이션에 적합합니다. GaN 기술의 급속한 발전은 전력 시스템에 혁신을 일으켜 매우 효율적이고 견고하고 안정적인 솔루션을 개발할 수 있게 할 고유의 이점을 활용할 것으로 예상됩니다.

## 추가 리소스

- LMG3650 - 650V TOLL 패키지 GaN FET, 드라이버 및 보호 기능 통합, 3 RDSON 옵션( $25m\Omega$ ,  $35m\Omega$ ,  $70m\Omega$ )으로 제공
- [LMG3650R035 평가 모듈 EVM 사용 설명서 확인](#)
- TI의 [GaN 기술](#)에 대해 자세히 알아보기

## 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](http://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

## 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 속련된 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 © 2025, 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025