

## Technical Article

## TI GaN FET 기반의 10kW 단상 스트링 인버터의 설계 고려 사항



Riccardo Ruffo와 Vedatroyee Ghosh

에너지 지속 가능성 및 보안 우려로 인해 에너지 저장 시스템, 특히 주거용 태양광 설치에 대한 수요가 가속화되고 있습니다. 시중에 최고 2kW의 전력을 지원하는 에너지 저장 시스템이 통합된 마이크로 인버터가 있습니다. 시스템에 더 높은 전력이 필요한 경우 에너지 저장 시스템도 연결된 스트링 인버터 또는 하이브리드 스트링 인버터가 있습니다.

그림 1 은(는) 하이브리드 스트링 인버터의 블록 다이어그램입니다. 공통 조정 DC 버스는 기본 블록을 상호 연결합니다. 하이브리드 스트링 인버터는 다음과 같은 서브블록 형태로 구성됩니다.

- 최대 전력 지점 추적을 수행하기 위한 단방향 DC/DC 컨버터.
- 배터리 충전 및 방전을 위한 양방향 DC/DC 컨버터. 배터리를 사용하면 야간이나 정전 시 전원을 공급할 수 있습니다.
- DC를 AC 전력으로 변환하고 저전류 THD(총 고조파 왜곡)를 유지하는 DC-AC 컨버터.
- 전류와 전압을 측정하고, 전원 스위치를 제어하며, 절연 모니터링을 수행하고, 스트링 아칭을 감지하며, 통신을 지원하는 MCU(마이크로컨트롤러).
- 방사 조도 및 온도와 같은 외부 변수에 관계없이 광발전 패널에서 사용 가능한 전력을 극대화하기 위한 전력 옵티마이저.

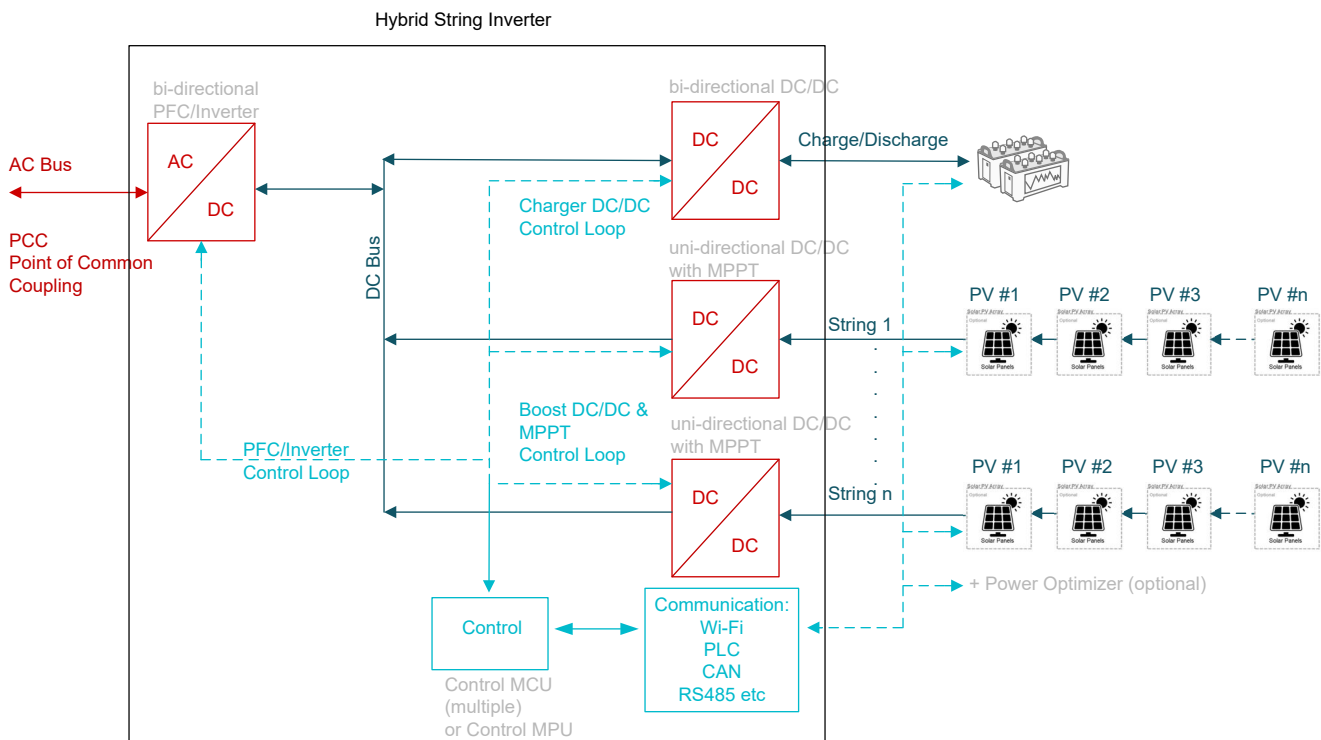


그림 1. 그리드에 연결된 하이브리드 스트링 인버터의 회로도

## IGBT와 GaN FET 비교

스트링 인버터는 IGBT(절연 게이트 양극 트랜지스터)와 같은 전원 스위치로 구성됩니다. 이러한 종류의 전원 장치에는 테일 전류 및 다이오드 역복구와 같은 문제가 있어 높은 스위칭 손실이 발생합니다. 또한 이러한 현상은 온도의 영향을 받아 특히 정적 냉각 솔루션의 경우 전력 손실이 더 커집니다. 따라서 이러한 전원 장치는 낮은 주파수에서 실행되어야 하므로 부피가 더 큰 패시브와 부피가 큰 히트 싱크가 필요합니다. 일반적으로 스위칭 주파수 범위는 5kHz~15kHz입니다.

GaN(질화 갈륨)과 같은 광대역 밴드갭 전원 스위치에는 소수 반송파 현상이 없으므로 스위칭 손실을 줄일 수 있습니다. 스위칭 손실이 감소하면 동일한 시스템 손실을 유지하여 스위칭 주파수를 높일 수 있으므로 패시브 부품을 줄일 수 있습니다. 평균적으로 스위칭 주파수는 6배 증가합니다.

이 문서에서는 GaN FET(전계 효과 트랜지스터)를 기반으로 10kW 스트링 인버터를 제안합니다. 또한 GaN의 장점을 살펴보고 주거용 태양광 애플리케이션을 위한 이러한 시스템을 구축할 때의 이점을 강조합니다.

### GaN 기반 스트링 인버터의 설계 고려 사항

그림 2 은(는) 모든 액티브 및 패시브 부품을 포함하여 배터리 에너지 저장 시스템을 갖춘 10kW, GaN 기반 단상 스트링 인버터 레퍼런스 설계를 보여줍니다.

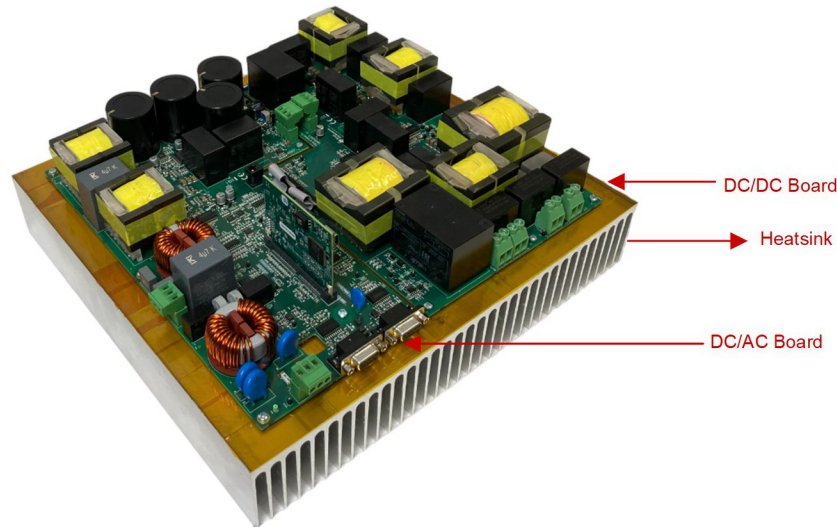


그림 2. GaN 장치 기반의 10kW 단상 레퍼런스 설계

그림 3은(는) 컨버터의 회로도입니다.

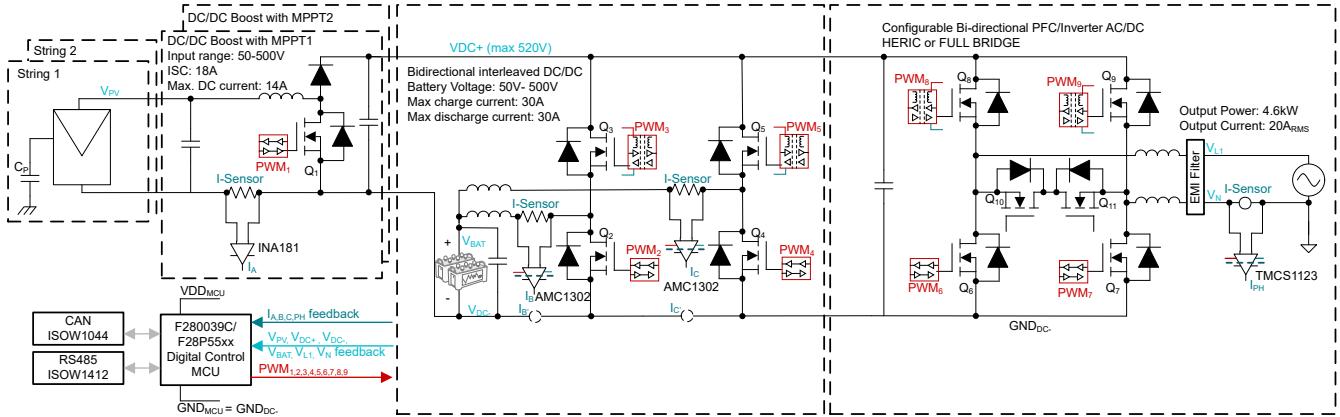


그림 3. 단상 스트링 인버터 레퍼런스 설계 블록 다이어그램

이 레퍼런스 설계는 다양한 스위칭 주파수에서 작동하는 4가지 전력 변환 시스템으로 구성됩니다.

- 2개의 독립적인 스트링 입력을 위한 2개의 부스트 컨버터, 각각 5kW 정격(134kHz).
- 10kW 정격 인터리브 양방향 DC/DC 컨버터(67kHz).
- 그리드를 위한 4.6kW 정격 양방향 DC/AC 컨버터(89kHz).

## 전원 장치

상단에서 650V 정격 30mΩ LMG3522R030 GaN FET를 냉각할 수 있어 바닥면 냉각 장치보다 열 임피던스가 작습니다. 이러한 FET에는 솔루션 비용을 절감하고 설계를 더 작게 만드는 통합 게이트 드라이버가 있습니다.

## MCU

그림 3에서 알 수 있듯이, 단일 MCU는 레퍼런스 설계를 제어합니다. TMS320F28P550SJ를 사용하면 4개의 전력 변환 단계, 보호 및 여러 제어 루프의 구현을 실시간으로 제어할 수 있습니다. MCU를 전원 접지(GND DC-)에 참조할 수 있습니다. 통합 게이트 드라이버로 인해 GaN FET의 직접 제어도 가능합니다. 하단 측면에는 절연 게이트 드라이버가 필요하지 않습니다(Q1A, Q1B, Q2, Q4, Q6, Q7).

## 전류 감지

이 시스템은 다양한 컨버터 단계에 대해 서로 다른 지점에서 전류를 측정해야 합니다. 부스트 컨버터는 MCU를 전원 접지라고 하기 때문에 음극 레일의 INA181과 같은 셉트 기반 솔루션으로 전류를 측정합니다. 인터리브 컨버터에서는 정밀 전류 센싱 강화 절연 증폭기인 AMC1302와 같은 장치를 사용하여 시간과 온도에 따른 높은 정확도로 배터리의 전류를 측정해야 합니다. 내부 GaN 저손실 레귤레이터에서 생성되는 5V는 전류 감지 증폭기에 전원을 공급합니다. 인버터 단계에서 TMCS1123과 같은 홀 효과 전류 센서는 그리드 전류 측정을 지원합니다. 높은 대역폭과 정확도는 전류 THD를 크게 줄일 수 있습니다.

## 실험 결과

TI는 이러한 시스템 전압으로 레퍼런스 설계를 작동했습니다.

- 스트링 입력 전압: 350V.
- 공칭 배터리 전압: 160V.
- 그리드 전압: 230V.
- DC 링크 전압: 400V에서 제어됨.

컨버터가 다양한 시나리오에서 작동할 때 이러한 효율성을 수집했습니다.

- 스트링 입력에서 전력이 드레인되어 그리드로 전달됩니다(그림 4 참조).
- 배터리에서 전력이 드레인되어 그리드로 전달됩니다(그림 5 참조).
- 스트링 입력에서 전력이 방전되어 배터리로 전달됩니다(그림 6 참조).

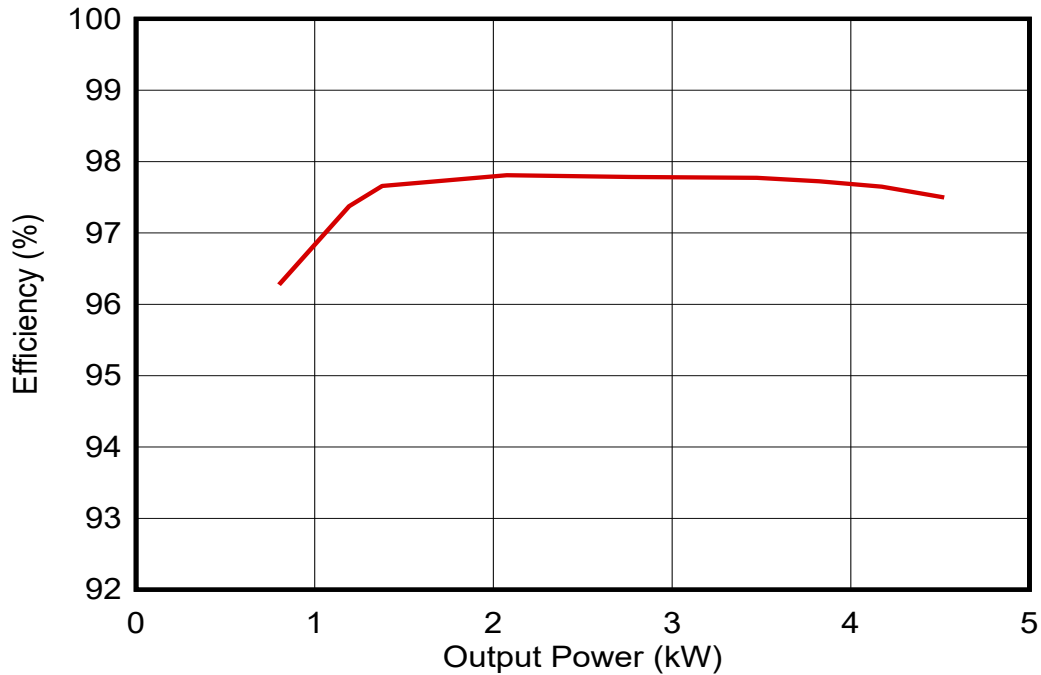


그림 4. 광발전 패널 출력에서 그리드로 전력을 변환할 때의 효율성(350V<sub>DC</sub>, 230V<sub>AC</sub>)

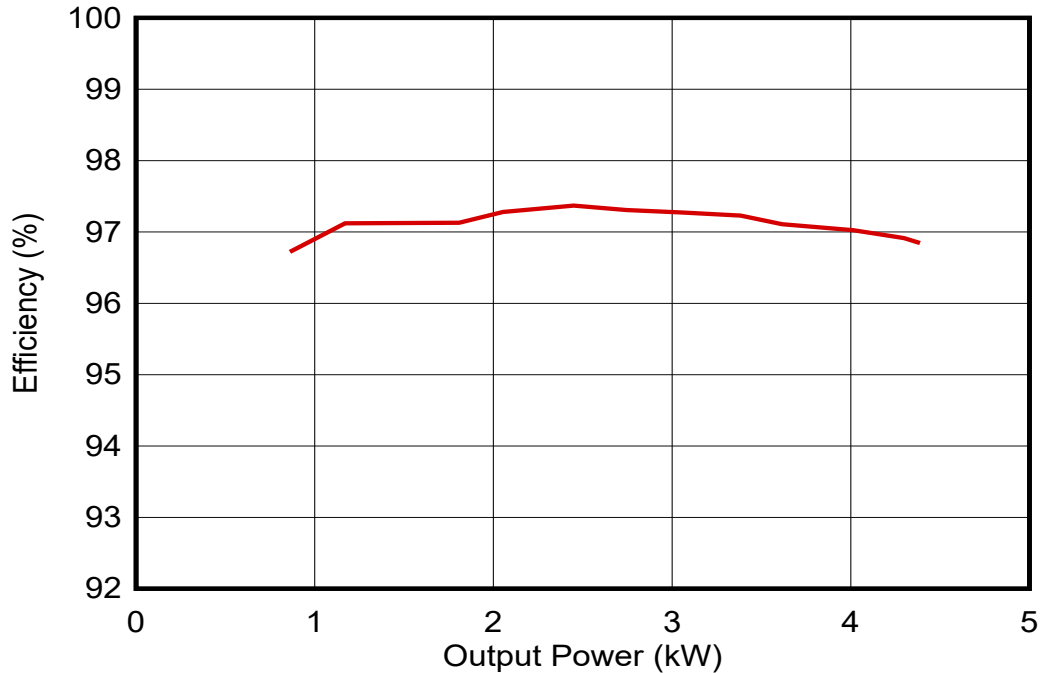


그림 5. 배터리 출력에서 그리드로 전력을 변환할 때의 효율성(160V<sub>DC</sub>, 230V<sub>AC</sub>)

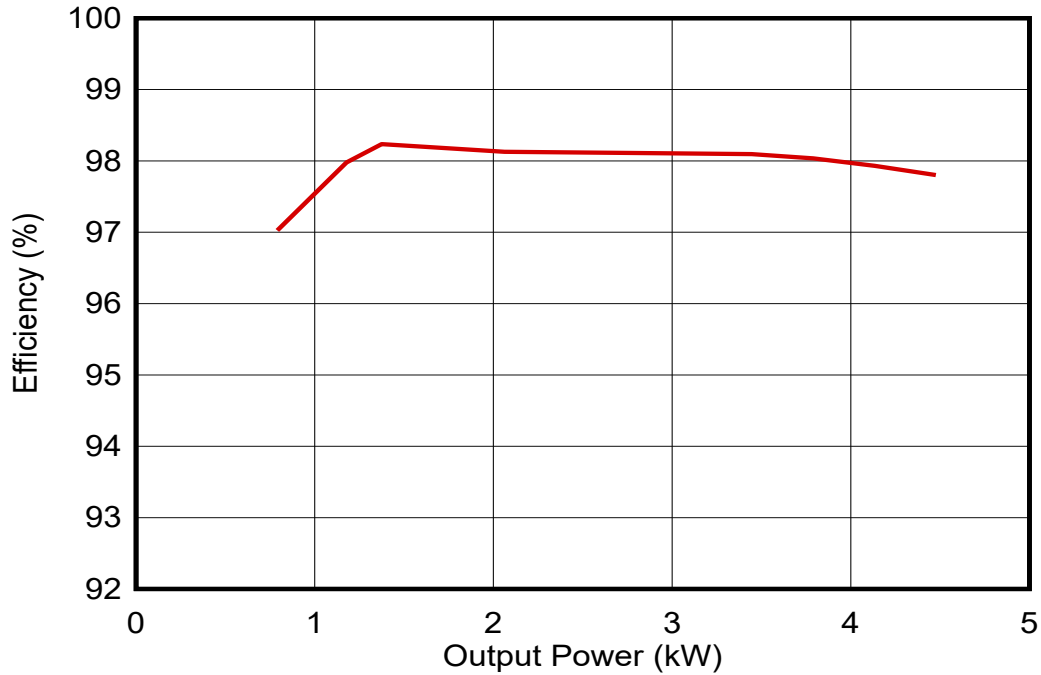


그림 6. 광발전 패널에서 배터리로 전력을 변환할 때의 효율성(350V<sub>DC</sub>, 160V<sub>DC</sub>)

그래프에 따르면 표준 IGBT 솔루션보다 6배 빠르게 스위칭하더라도 전체 효율성은 여전히 현재의 IGBT 솔루션과 견줄 수 있습니다. 관리 전원 공급 장치를 포함했을 때 효율성이 98%에 가까웠습니다. 세 가지 그림에는 모두 두 개의 전력 변환 단계가 포함되어 있습니다.

## 결론

GaN은 더 높은 전력 밀도를 달성하여 최종 완제품의 무게를 줄이는 데 도움이 됩니다. 전체 시스템 효율성이 98%에 가깝고 전력 밀도가 2.3kW/L인 스트링 인버터 레퍼런스 설계는 뛰어난 성능을 보여줍니다. 또한 통합 게이트 드라이버 솔루션을 구현하면 총 시스템 비용을 고려할 때 비용을 절감할 수 있습니다.

## 추가 리소스

- 다음과 같은 다른 TI 레퍼런스 설계를 확인해 보시기 바랍니다.
  - [GaN 레퍼런스 설계 기반의 1.6kW, 양방향 마이크로 인버터.](#)
  - [태양광 애플리케이션의 머신 러닝 아크 감지를 위한 아날로그 프론트 엔드 레퍼런스 설계.](#)
  - [400W GaN 기반 MPPT 충전 컨트롤러 및 전력 옵티마이저 레퍼런스 설계.](#)
  - [배터리 에너지 저장 시스템을 지원하는 10kW, GaN 기반 단상 스트링 인버터 레퍼런스 설계.](#)
- How2Power 문서 [“GaN FET 기반 10kW 스트링 인버터의 성능 평가”](#)를 읽어보시기 바랍니다.

## 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](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