

Application Note

住宅用ソーラー インバータで **650V 統合型 GaN** 電力段を使用することのシステム レベルの利点

Bowen Ling, Harald Parzhuber, Vedatroyee Ghosh

概要

このアプリケーション ノートは、住宅用ソーラー スtring インバータでの統合型 **650V GaN** 電力段の使用方法について説明しています。この資料では、**TIDA-011008** をケース スタディとして使用し、効率、放熱挙動、スイッチング性能、電力密度の利点、システムレベルのコスト最適化をレビューします。

目次

1 概要.....	2
2 ソーラー インバータに GaN を選択する理由.....	2
2.1 TI の GaN モジュールの説明.....	2
2.2 GaN と IGBT のコスト比較.....	3
3 3.6kW GaN String インバータの性能測定結果.....	5
3.1 DC/DC 昇圧性能.....	5
3.2 DC/AC インバータの性能.....	5
3.3 熱性能.....	7
3.4 システム効率と電力密度.....	7
4 まとめ.....	8
5 参考資料.....	8

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

住宅用ソーラー インバータは、高効率、小型サイズ、競争力のあるコストのバランスを確保する必要があります。IGBT ベースの従来の設計は多くの場合、スイッチング周波数に制限を加えてスイッチング損失を低減します。その結果、磁気素子、コンデンサ、熱管理ハードウェアのサイズは大きくなります。統合型 GaN 電力段により、効率的な 100kHz 動作を実現し、受動部品のサイズを低減すると同時に、良好な変換効率を維持できます。この組み合わせにより、設計者はシリコンベースの従来の実装に比べて、電力密度を向上させ、全体的なシステム BOM コストを削減できます。

2 ソーラー インバータに GaN を選択する理由

2.1 TI の GaN モジュールの説明

GaN デバイスは、従来型のシリコン IGBT に比べてスイッチング損失を大幅に低減します。LMG3660 は統合型ドライバーアーキテクチャを採用しているため、外部ゲートドライバが不要になり、部品数をさらに低減できます。さらに、スイッチング損失の低減、EMI フィルタ ノイズの低減、冷却要件の低減、システム実装の簡素化などの利点もあります。

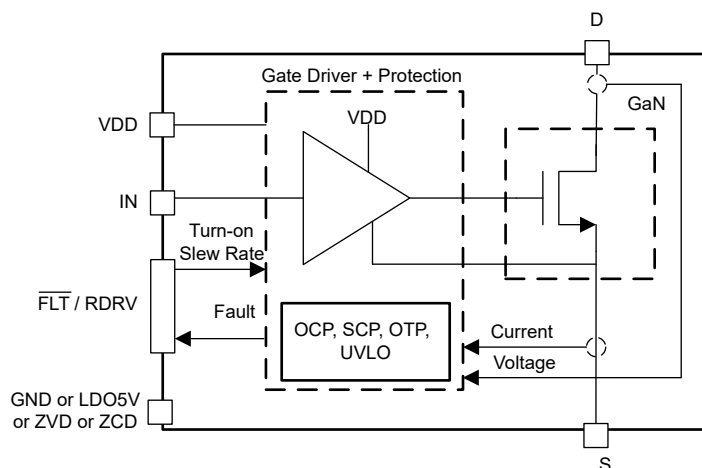


図 2-1. LMG366x のブロック図

非内蔵型 GaN トランジスタと比較して、LMG366x は統合型ドライバー設計を採用しているため、ゲートドライバー ループ内の寄生インダクタンスを大幅に低減できます。この統合により、GaN 電力段はクリーンな波形と 40V/ns を超える高いスループレートでスイッチングを行いながら、わずか 12.5% の低オーバーシュートを維持できます。

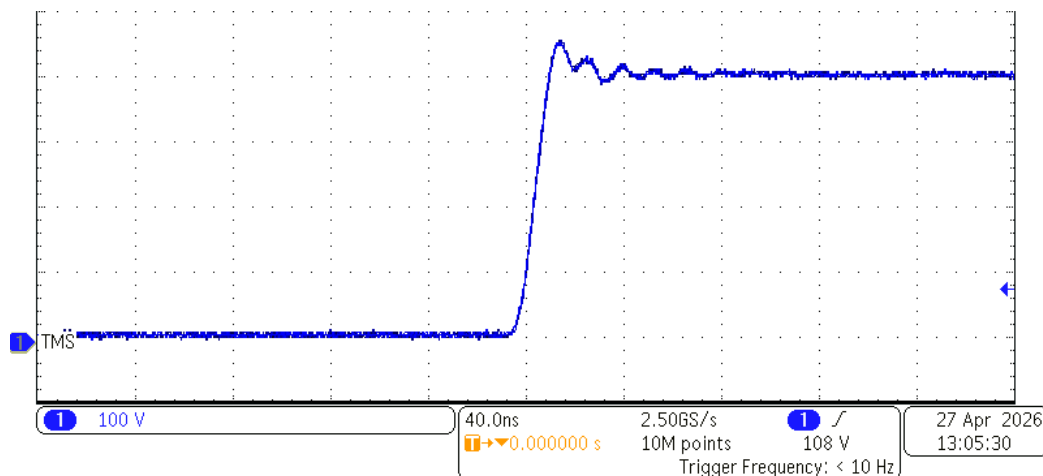


図 2-2. LMG366x のスイッチング動作、立ち上がりエッジ

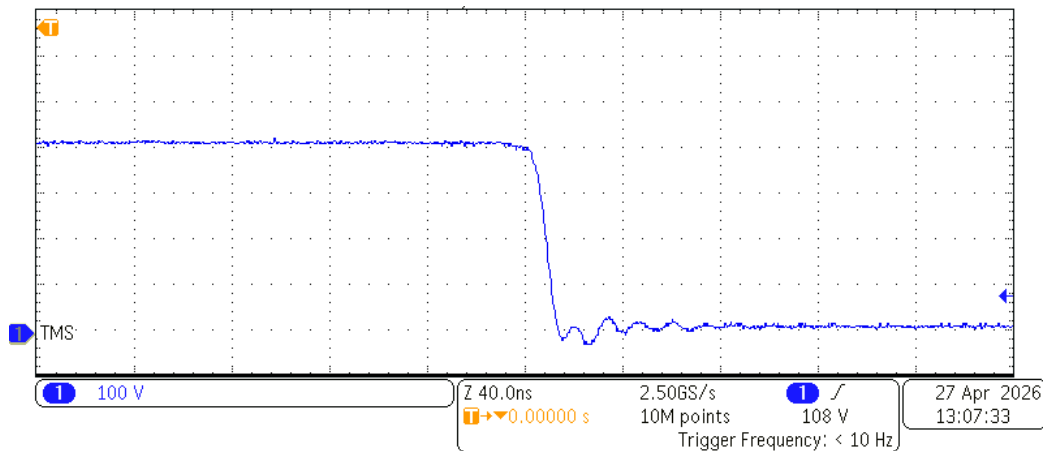


図 2-3. LMG366x のスイッチング動作、立ち下がりエッジ

2.2 GaN と IGBT のコスト比較

GaN デバイスは、同等の IGBT と比較してコンポーネント単体の価格が高くなる場合がありますが、システムレベルの分析を行うと異なる結論が得られます。すべての主要サブシステムに及ぼす影響を考慮する場合、TIDA-011008 設計では、GaN ベースの実装で同等の IGBT ベースの設計に比べて部品表 (BOM) 全体のコストを約 11% 低減できることが示されています。

図 2-4 に示すように、磁気部品とコンデンサに関連して、最も大幅なコスト削減が可能です。このようなコスト削減は主に、GaN 電力段で対応できるスイッチング周波数が上昇することによりもたらされます。

高い MPPT 効率を維持するには、昇圧コンバータの入力電圧リップルを最小限に抑える必要があります、十分な入力容量が必要です。静電容量の要件はスイッチング周波数に反比例するため、100kHz で動作する GaN ベースの昇圧コンバータに必要な入力キャパシタンスは、同等の 33kHz の IGBT ベース設計の約 3 分の 1 で済みます。この結果、コンデンサのコストと体積を直接低減できます。

スイッチング周波数が高いほど、EMI フィルタ設計にも利点があります。特定の EMI フィルタについて、通常は周波数が高くなるほど伝導差動モードのノイズ減衰は改善されるため、GaN ベースの設計ではより小さな x コンデンサで同じフィルタリング性能を達成できます。これらの要因が組み合わさることで、コンデンサ コストの全体的な低減に大きく寄与します。

磁気部品も、コスト削減のもう 1 つの主要要因です。スイッチング周波数を高くすると、昇圧段と DC/AC インバータ段の両方で必要なインダクタンス値が大幅に減少します。その結果、インダクタの小型化で体積と重量の低減と同時に低価格化を実現できます。また、同相モード チョークを最適化できます。これは、高い周波数の同相ノイズが減衰しやすくなり、磁気部品のコストをさらに削減できるためです。

「TI の GaN モジュールの概要」セクションで説明したように、ゲートドライバを内蔵している場合は、別個のゲートドライバは必要ありません。ほとんどの場合、PWM バッファとデジタル アイソレータのみが必要です。

図 2-4 に示す BOM の削減に加えて、受動部品を減らしてコンパクトな設計が可能になることで、住宅のコストを削減し、保管、輸送、設置にかかるコストも削減できます。これらの節約は BOM 比較には含まれていませんが、インバータの総システムコストを削減するためのさらなる機会が得られます。

図 2-5 に、100kHz の GaN 動作が利点となる主要部品を示します。コンデンサ、磁気、ゲートドライバの小型化は、全体の BOM コストの削減に総じて寄与しています。

BOM Cost Comparison. IGBT vs. GaN

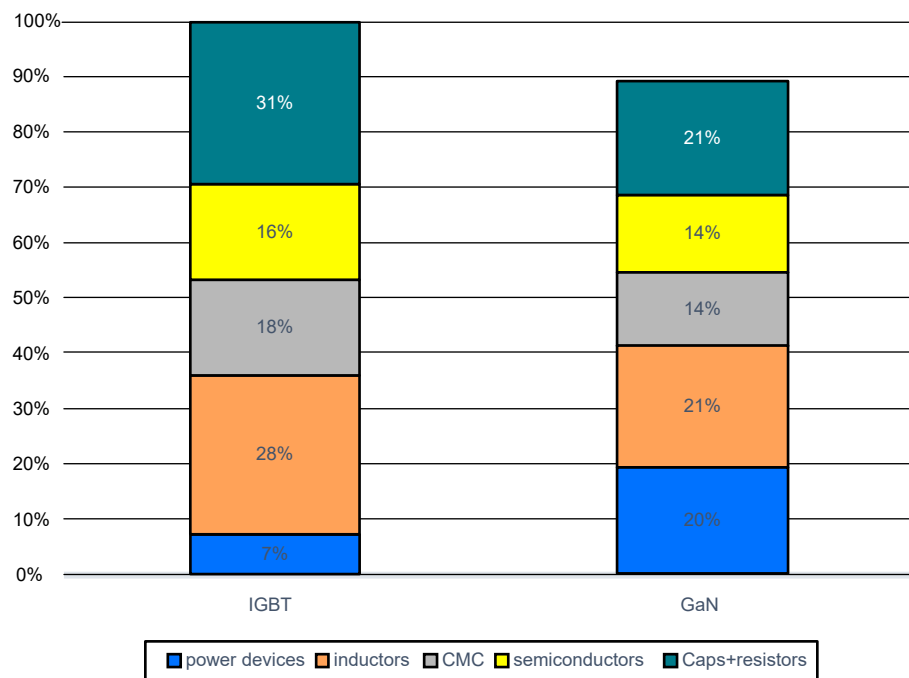


図 2-4. IGBT ベース設計と GaN ベース設計のコスト比較

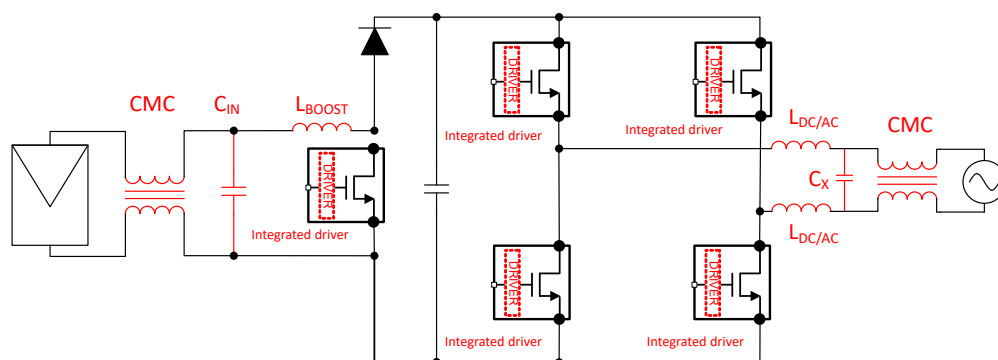


図 2-5. システム ブロック図

3 3.6kW GaN ストリング インバータの性能測定結果

3.1 DC/DC 昇圧性能

TIDA-011008 昇圧段は広い PV 入力範囲で動作し、400V の安定化 DC リンク電圧で出力を供給します。広い動作範囲にわたって 99% を上回る測定効率を実現します。200V、250V の入力電圧で約 500W の出力電力を供給すると、コンバータは疑似 ZVS 動作領域に入り、スイッチング損失を低減して、軽負荷時の効率を向上させます。図 3-1 は、入力電圧が 200V を超え、出力電圧が 400V を超える場合、ハードスイッチングの非同期昇圧段の効率が 98.5% を超えることを示しています。このため、ヒートシンクの設計が容易になります。

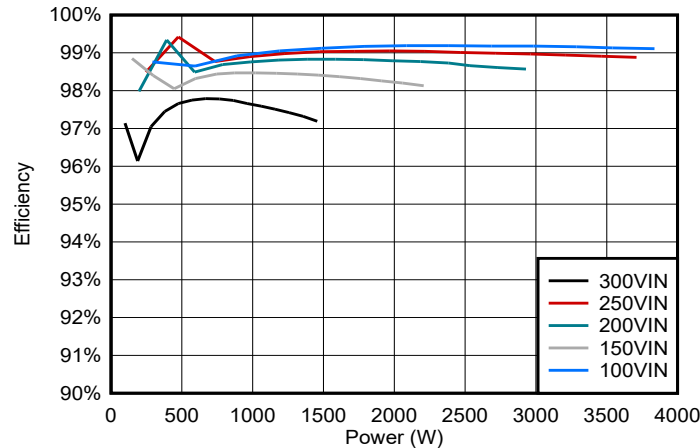


図 3-1. DC/DC 昇圧の効率と出力電力との関係

3.2 DC/AC インバータの性能

インバータ段は 230VAC グリッドに接続し、100kHz のスイッチング周波数で動作するバイポーラ フルブリッジ アーキテクチャを使用して、最大 3.6kW を供給します。測定結果は、全負荷効率が約 98.0%、CEC 重み付け効率が約 98.2% であることを示しています。

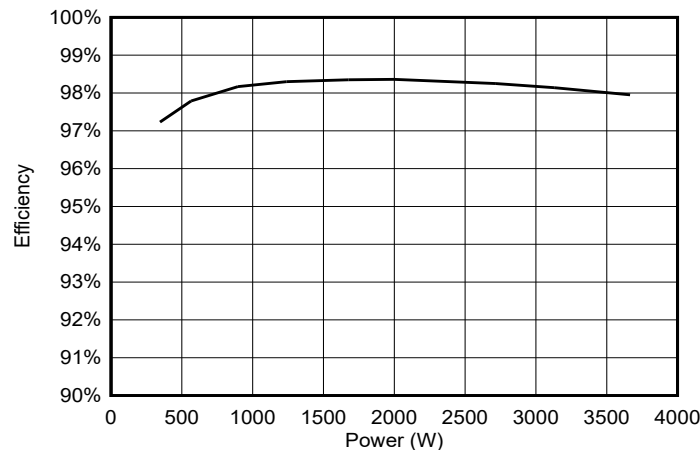


図 3-2. DC/AC インバータの効率と出力電力との関係

高効率に加えて、このインバータは優れた出力電流品質を示しています。図 3-3 および 図 3-4 に示すように、CH1 は出力電流、CH2 は出力グリッド電圧、CH3 は DC リンク電圧、グリッド エミュレータでテストされています。400VIN、230VAC で約 80% の負荷でテストを行ったところ、出力電流 THD はわずか 1.23% であることがわかりました。200VIN、35VAC の非常に軽い負荷条件での測定も、良好な高調波性能とクリーンな正弦波電流波形を示しています。これらの結果は、広い動作範囲にわたって低歪みを維持できるうえで、GaN ベースの電力段と制御アーキテクチャの効果を実証しています。

図 3-5 で、CH1 は出力電流、CH2 は DC リンク電圧、CH3 は出力グリッド電圧、実数グリッドテストは良好な無効電力動作、グリッド電圧 THD は約 4.2%、出力電流 THD は 45% 負荷でわずか 3.5% です。このことは、歪んだ公共事業グリッドで動作している場合でも、インバータは優れた電流品質を維持できることを示しており、住宅用グリッド接続のソーラーアプリケーションに最適です。

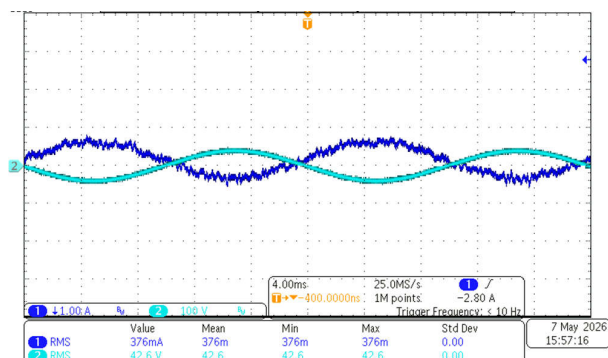


図 3-3. グリッド エミュレータ、出力電流波形、軽負荷

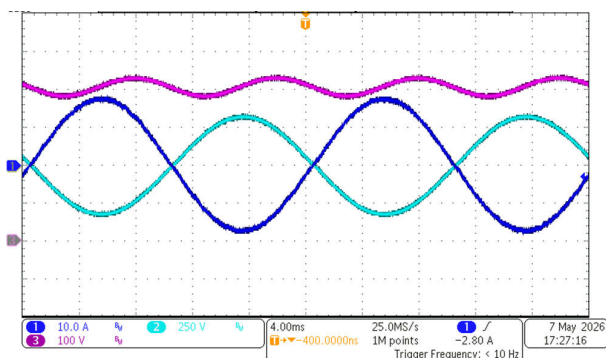


図 3-4. グリッド エミュレータ、出力電流波形、重負荷

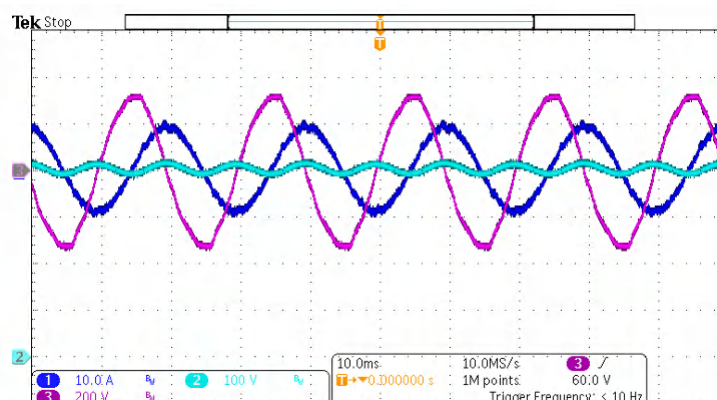


図 3-5. 実際のグリッド出力電流の波形

3.3 熱性能

図 3-6 から、熱測定の結果によると、高出力動作条件下において、DC/AC インバータ段の GaN デバイスの温度上昇は約 50°C にとどまることが示されています。テストは、ヒートシンクを約 40°C に予熱し、周囲温度を約 30°C にして実施しました。これは現実的な高温動作環境を表しています。

GaN デバイスの温度は、LMG366x 電力段のピンの近くに配置した ISOTMP35 温度センサを使用して測定しました。100kHz のスイッチング周波数で動作しているにもかかわらず、測定された温度上昇は良好に制御されたままであり、内蔵 GaN デザインの低損失特性を強調していることと、積極的な熱管理対策の必要性が低下しています。

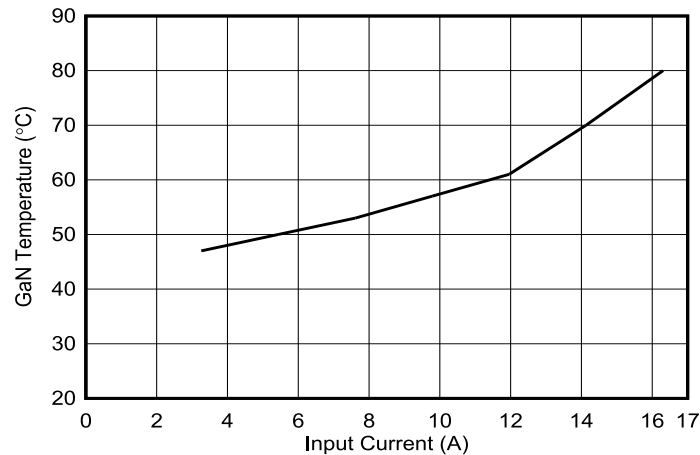


図 3-6. GaN の温度データ

3.4 システム効率と電力密度

昇圧段がスイッチングしないときに、エンド ツー エンドの効率は約 97.5% に達し、CEC 効率は最大 97.3% に達します。100kHz のスイッチング周波数で動作する場合、従来の低周波数実装に比べて、昇圧インダクタ、出力フィルタ インダクタ、その他の受動部品のサイズが大幅に縮小されます。その結果、磁性部品の体積が削減されることで電力密度の向上が可能となり、システム全体の小型化設計に貢献します。TIDA-011008 が示すように、インバータを 205mm × 205mm の基板プラットフォームに実装しながら、高い効率と放熱性能を維持できます。

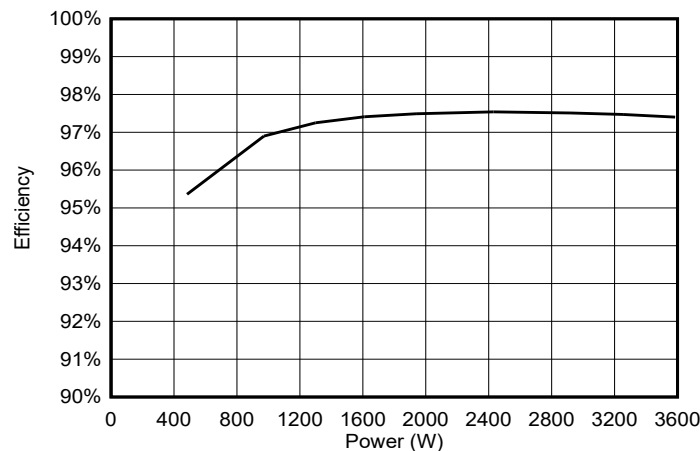


図 3-7. システム効率

4 まとめ

GaN 技術がもたらすメリットは、単なる効率向上にとどまりません。TIDA-011008 の結果は、統合型 GaN 電力段を使用することにより、効率、電力密度、熱挙動、全体のシステムコストを同時に改善できることを示しています。測定データから、適切に最適化された GaN 設計が従来の IGBT アーキテクチャを上回る性能を実現しながら、全体の BOM コストを削減できることがわかります。

5 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『[3.6kW、GaN ベースの単相ストリング インバータのリファレンス デザイン](#)』、設計ガイド。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月