# GaN FET 内蔵、両面冷却を採用した 48V 降圧コンバータにおける高電力密度の実現

**Matthew Bowers**
Systems engineer, power design services

## 概要

車載用、産業用、データ センター用の各システムにおける 48V 配電アーキテクチャの継続的な採用により、ソリューション サイズを最小限に抑えつつ大出力電流に対応できる、小型で高効率な DC/DC コンバータの需要が高まっています。統合型の窒化ガリウム (GaN) パワー コンバータは、スイッチング損失とパッケージの寄生成分を低減することでこうした要求に対処し、従来のシリコンベースのソリューションと比較して電力密度を向上させることができます。

コンバータの電力密度が向上するにつれて、熱管理が設計上の重要な検討事項になります。本記事では、内蔵型 GaN パワー集積回路 (IC) を使用した 48V 入力、12V 出力の 4 相同期整流降圧コンバータの検証を行い、高負荷動作時の電力損失に対処するために、プリント基板 (PCB) による熱拡散と併せて両面冷却を活用する方法をご紹介します。

## 高電力密度変換を実現する内蔵型 GaN

シリコンの金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) 技術は、入手の容易さと実績ある性能により、パワー コンバータ設計の基礎として利用されてきました。しかし、コンバータの電力レベルや電力密度に対する要求が高まるにつれて、従来のシリコンベースの実装では、スイッチング損失やパッケージの寄生成分に関連する課題がますます大きくなってきています。内蔵型 GaN パワー IC は、高速 GaN パワー FET、ゲート ドライバ、制御回路を単一のパッケージに統合することで、これらの制約に対処します。この構成により、寄生インダクタンスを低減しつつ、コンバータの実装を簡素化できます。GaN の高いスイッチング性能により、高いスイッチング周波数での動作も可能になります。これにより、磁気部品や容量性部品に必要なサイズを小さくすると同時に、制御ループの応答を高速化できます。

GaN パワー FET と内蔵ゲート ドライバ間の寄生インダクタンスを低減することで、スイッチング遷移の制御性も向上し、不要なリンギングやそれに伴うスイッチング損失を低減できます。こうしたスイッチング動作の向上は、電磁干渉 (EMI) の低減にも役立つ可能性があります。これは、高スルー レートで動作する高密度パワー コンバータにおいて重要な検討事項です[1]。

本記事で紹介する 4 相コンバータの設計では、48V から 12V への降圧変換における効率および電力密度の要件を満たすために、TI の **LMG708B0** 内蔵型 GaN パワー マルチチップ モジュール (MCM) IC を採用しています。

## 熱に関する課題と両面冷却

内蔵型 GaN パワー IC により、コンバータの効率向上およびソリューションの小型化が可能になりますが、小型パッケージ内に電力損失が集中するため、熱密度と熱流束が増大します。そのため、GaN 内蔵による本来の性能を最大限に引き出すには、電気的損失を最小限に抑えるだけではなく、デバイスから周囲の環境へ熱を伝達するための効果的な経路を確保することも必要になります。従来の PCB 冷却による実装では、デバイスで発生した熱は、パッケージを通して PCB へ伝導する必要があります。PCB では、銅箔プレーンとサーマル ビアを通じて、周囲の表面や近傍の環境へ熱が拡散されます。一般的な目安として、自然対流冷却の場合は、電力損失 1W あたり約 1in$^2$ (2.5cm$^2$) の冷却面積が必要になる場合があります。したがって、PCB の熱拡散能力を最大化することは、高電力密度のコンバータにおいてデバイス温度を管理する上で重要な要素となります。

両面冷却構造を追加することで、LMG708B0 パッケージから外部冷却インターフェイスへ直接つながる、並列の熱経路を確保できます。この追加の経路により、PCB と両面冷却構造の両方を通じて熱を伝達できるため、接合部周囲間の総合的な熱抵抗を低減できます。したがって、上面冷却方式は PCB の熱経路を完全に置き換えるのではなく、それをベースとして活用するものです。これにより、内蔵型 GaN パワー IC の小型フットプリントを維持しながら、放熱性能を向上させることができます。**図 1** は、パッケージにおける熱伝導経路を簡略化して示したものです。

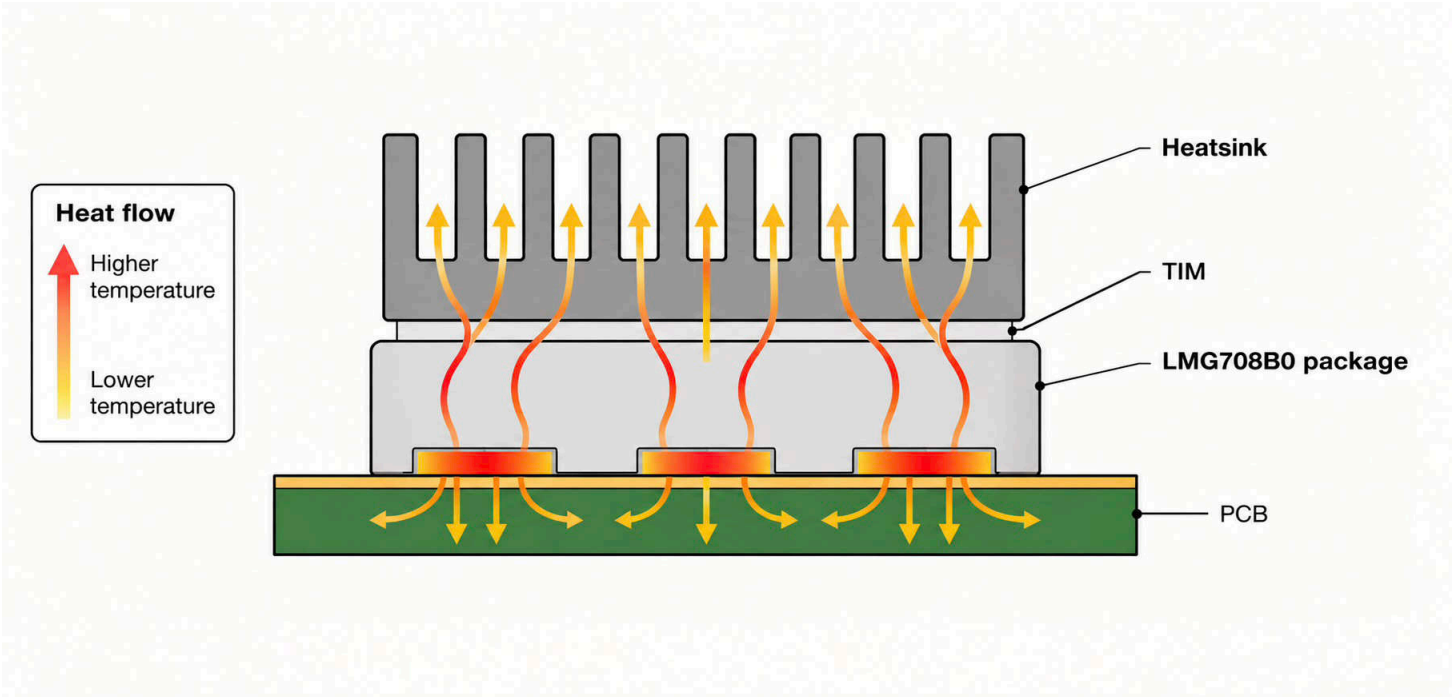



***図 1.*** *LMG708B0 内蔵型 GaN パワー マルチチップ モジュール パッケージにおける熱伝導経路の簡略図*

## GaN コンバータ IC の設計と実装

熱に重点を置いた設計上の検討事項を評価するために、「**GaN 内蔵、48V$_{IN}$、960W、4 相降圧コンバータのリファレンス デザイン**」を使用しました。4 相のインターリーブ方式の内蔵型 GaN に負荷を分散することで、各相に流れる電流と電力損失を低減しつつ、48V 電力変換に必要な大出力電流への対応および小型ソリューションを実現できます。**表 1** は全体の設計仕様を示しています。

| 設計パラメータ | 値 |
|---|---|
| 入力電圧 | 48V (36V ～ 60V) |
| 出力電圧 | 12V |

| 設計パラメータ | 値 |
|---|---|
| 出力電流 | 80A (電気設計および熱設計電流) |
| トポロジ | 4 相同期整流降圧 |
| スイッチング周波数 | 400kHz (各相) |
| 電力段 | 4 つの LMG708B0 デバイス |
| リファレンス デザイン番号 | PMP23595 |

***表 1.*** *降圧コンバータの設計仕様*

パッケージ、冷却構造、PCB における温度分布と熱の流れを評価するために、熱シミュレーションを行いました。熱シミュレーションは、Ansys Icepak® 熱モデリング ソフトウェア ツールを使用して作成しました。**図 2** は、周囲温度 25℃、エアフローなし、960W の最大出力時における 4 相降圧コンバータの定常状態での熱シミュレーションを示しています。4 つの LMG708B0 デバイスそれぞれに 6.29W の電力損失を割り当てています。電力損失は、リファレンス デザインを周囲温度条件 25℃、960W の最大出力で動作させた際の総電力損失を求め、そこから周辺の受動部品から生成される損失を引いて算出しました。これにより、LMG708B0 デバイスで発生する損失のみが残ります。デバイスの総電力損失は、4 相全体で合計 25.16W に相当します。シミュレーションで得られたパッケージ温度は、4 相全体で約 108℃ であり、LMG708B0 デバイスの推奨ケース温度である 135℃ を十分に下回っています。

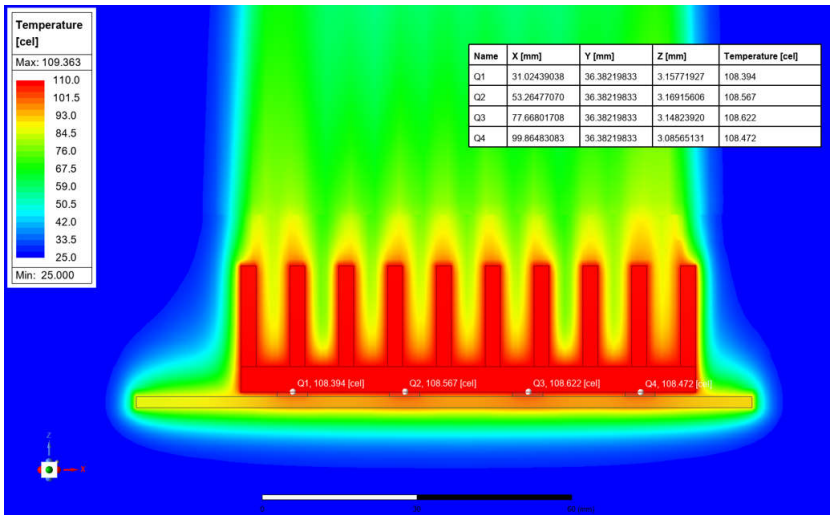



***図 2.*** *両面冷却構造を備えた 4 つの内蔵型 GaN 電力段の熱シミュレーション*

このシミュレーションでは、内蔵型 GaN デバイスから、両面冷却構造と PCB の両方を経由する熱経路も示しています。ただし、シミュレーションは最終的なハードウェア実装を近似的に表現したものとなっています。モデル化されたヒートシンクの形状は、最終的なヒートシンクとはわずかに異なっており、LMG708B0 パッケージとヒートシンクとの間に使用されるサーマル インターフェイス マテリアル (TIM) も考慮されていません。TIM は、ケースとヒートシンクの間に追加の熱インピーダンスを生じさせ、両面冷却経路の全体的な放熱性能に影響を及ぼす可能性があります。したがって、シミュレーションで得られた温度は、本記事で後述するコンバータの実測性能と比較するための熱的なリファレンスとなります。

## 実験的評価

コンバータの性能評価は、入力 48V、出力 12V における動作負荷範囲で実施しました。**図 3** は、出力電流に応じた効率の測定値と、それに対応する電力損失を示しています。両方の値を示すことで、コンバータの性能をより包括的に把握できます。効率は電力変換の有効性を示し、電力損失曲線はコンバータが放散する必要がある熱負荷を表しています。両面冷却パッケージの効果

を最大限に高めるため、データ取得時にはヒート シンクを取り付け、追加のエアフローは行いませんでした。ヒート シンクとテスト設定の詳細については、本記事の後半で説明します。

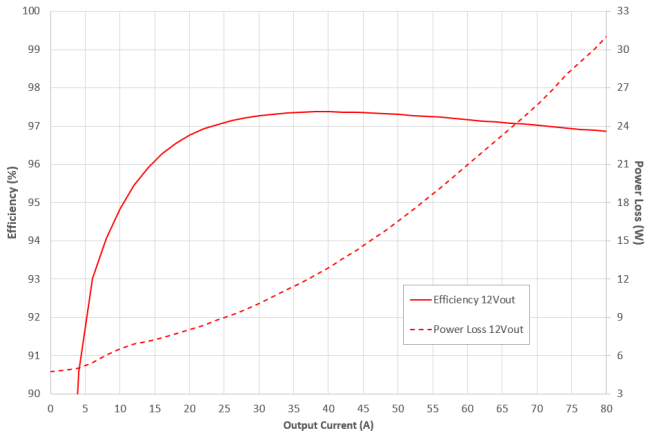



***図 3.** 出力電流に対する効率および電力損失の測定結果*

軽負荷時には、インダクタのコア損失、ゲート ドライバ、およびその他の制御関連の損失に伴う比較的固定的な損失が、処理電力に占める割合として大きくなります。出力電流が増加すると、これらの固定損失は出力電力に対して小さくなり、効率が向上します。そして、約 40A で最大に達します。この点を超えると、電流に依存する損失が次第に支配的になります。これは、抵抗による導通損失が電流のほぼ 2 乗 ($I^2R$) に比例して増加するためです。したがって、電源 IC、インダクタ、大電流 PCB の銅配線における導通損失は、負荷電流に応じて急速に増加し、コンバータが全負荷に近づくにつれて効率は徐々に低下します。

ピーク効率から最大負荷までの効率低下はわずか 0.5% であるものの、電力損失はこの間 18.2W 増加します。こうした絶対的な電力損失の増加は、コンバータのコンパクトなフットプリント内において大きな熱負荷となるため、電力段と周囲の部品に対して効果的な放熱経路を確保することの重要性を改めて示しています。

電力損失の測定データは、**図 2** に示す熱シミュレーションの背景情報となります。このシミュレーションでは、各 LMG708B0 IC に 6.29W の電力損失が割り当てられており、80A の全負荷動作ポイントにおける 4 相全体で 25.16W となります。一方、80A の動作ポイントにおけるコンバータ全体の電力損失の実測値は 31.2W です。これらの値の差は、主にインダクタ、電流センス用シャント抵抗、PCB 電流経路など、コンバータの他の部品で損失が分散して発生していることを示しています。また、熱モデルで使用された仮定も反映しています。それでも、この比較結果は、総熱負荷のかなりの部分が 4 つの内蔵型 GaN パワー IC に関連していることを示しており、PCB を介した熱拡散を補完するために専用の両面冷却を採用することの妥当性を裏付けています。

## 放熱性能

パッケージレベルでの温度分布と両面冷却方式の有効性の両方について特性評価するために、2 つの定常状態動作条件の下で放熱性能を評価しました。**図 4** に示す最初の測定は、ヒート シンクを取り外した状態での 50A 出力電流時の結果であり、サーマル カメラで 4 つの LMG708B0 パッケージと周囲の PCB を直接観察できるようになっています。この動作ポイントでは、4 相の実装により 600W の出力電力を供給し、測定された総電力損失は約 16.6W です。観測された最高温度は約 97℃ で、最も高い温度は電力段領域の周辺に集中していました。

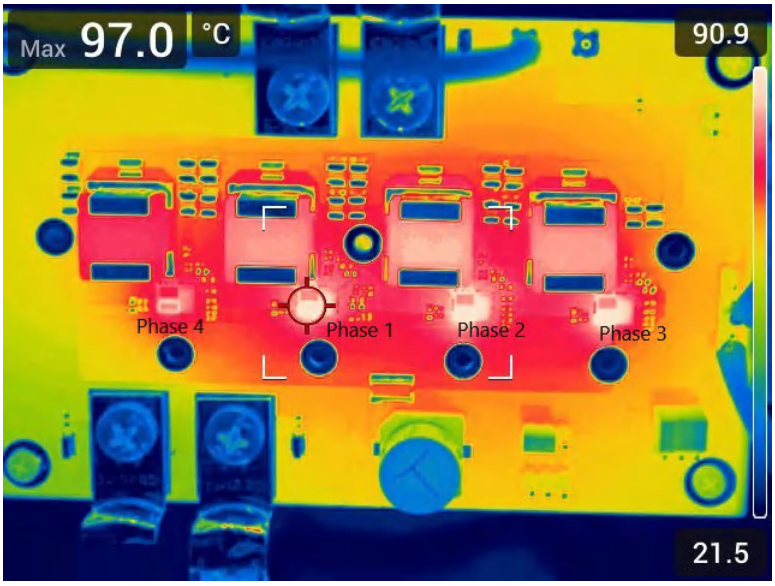



***図 4.*** *ヒート シンクなし、50A 負荷時における赤外線熱画像*

次に、両面冷却構造の効果を最大化するために、ヒートシンクを取り付けた状態で、80A の全負荷条件においてコンバータを評価しました。ヒート シンクはアルミニウム製で、ベース サイズは 10.72cm (4.22 インチ) × 2.70cm (1.06 インチ)、高さは 1.61cm (0.63 インチ) です。さらに、ヒート シンクには、ベース部分から伸びる高さ 2.54cm (1.00 インチ) のフィンが 7 枚設けられています。ヒート シンクは、両面冷却パッケージを介して IC から熱をシンプルかつ効果的に取り出せるように設計されています。ほとんどのアプリケーション、特に車載分野では、電子制御ユニット (ECU) のハウジングのようなより大型のヒート シンク、またはより優れた性能を実現する最適化された冷却構造が採用されます。ヒート シンクと LMG708B0 デバイスの間に使用した TIM は、厚さ 1mm の T-WORK9000 であり、熱伝導率は 20W/m-K です。この動作ポイントにおいて、コンバータは 960W を供給し、コンバータの総電力損失は約 31.2W となります。**図 5** に示す、ヒート シンクで内蔵型 GaN パッケージを覆っている状態の熱画像は、主に外部の冷却構造と周囲のコンバータにおける温度分布を示しています。この熱画像は、コンバータが熱平衡に達するよう、960W で約 20 分間定常状態で動作させた後に撮影したものです。

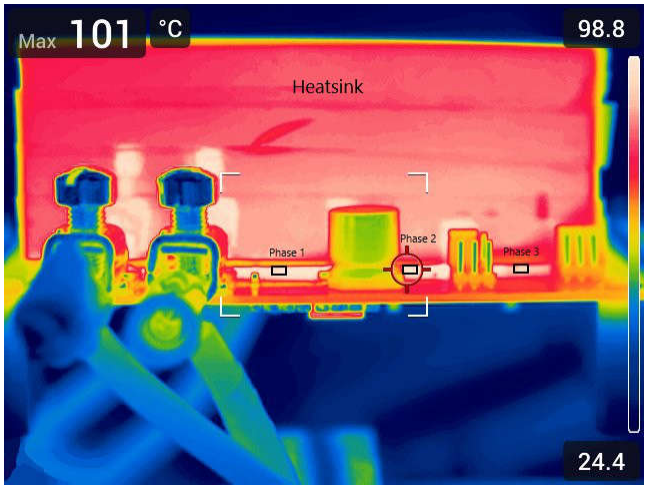



***図 5.*** *ヒート シンクあり、80A 負荷時における赤外線熱画像*

2 つの測定結果は、コンバータの設計に組み込まれた熱経路が互いに補完し合うことを示しています。**図 4** の 50A での測定では、電力段と PCB の温度分布を直接観察できます。一方、**図 5** の 80A での測定では、最大動作条件における冷却実装全体を評価し、両面冷却構造の有効性を示しています。これらの結果は、80A 全負荷条件をモデル化した熱シミュレーション (**図 2**) を補完するものです。**図 5** は電力段領域の一部を示しており、各 IC の温度が約 101°C であることを示しています。より正確なケース温度は、ワイヤ リードを主要な LMG708B0 デバイスの上面、かつ TIM とヒート シンクの下に配置した状態で、熱的結合を利用して測定しました。主要な LMG708B0 デバイスのケース温度は 105.4°C でした。**図 6** に、主要な IC のケース温度を測定するために使用した設定を示します。

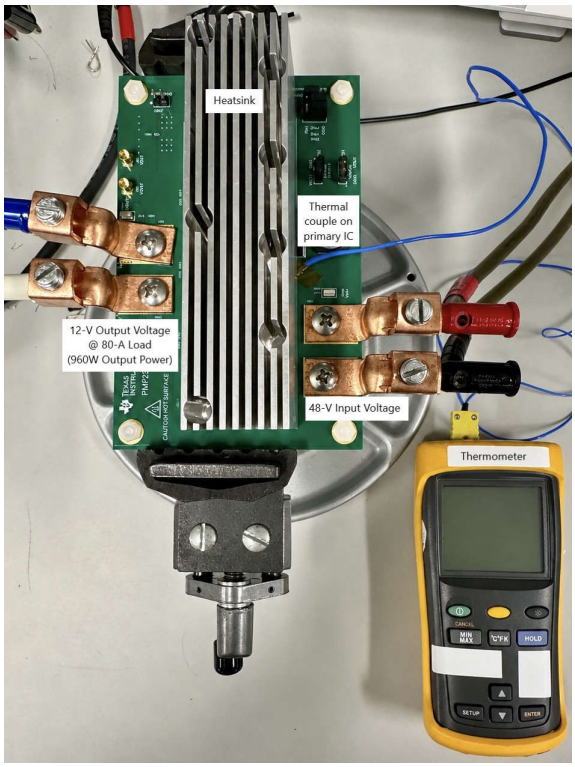



***図 6.** 熱評価用のテスト設定*

これらの結果は熱シミュレーションの結果と一致しており、両面冷却構造の重要性を示しています。また、より大型または信頼性の高い冷却システムを使用したり、送風用のファンを追加することで、温度をより低く抑え、システム性能をさらに向上させることができます。

## まとめ

高電力密度コンバータの開発では、開発プロセス全体を通じて、電気的性能と放熱性能の両方を考慮する必要があります。内蔵型 GaN パワー IC によって効率と電力密度の向上が可能になりますが、これらの利点を実現するには、コンバータ アーキテクチャ、PCB レイアウト、熱管理を慎重に設計する必要があります。

本記事でご紹介する $48V_{IN}$ から $12V_{OUT}$ へ変換する 4 相同期整流降圧コンバータの設計は、コンバータ全体の設計に両面冷却を組み込むことで、高効率を実現すると同時に、高負荷時の電力損失を管理するための効果的な経路を確保できることを示しています。電気的性能、電力損失、熱挙動を総合的に考慮することで、大電流 48V 電力変換アプリケーション向けに、小型で信頼性の高い内蔵型 GaN パワー コンバータを実現できます。

## 著者について

Matthew Bowers は、TI の電源設計サービス チームのシステム エンジニアであり、車載アプリケーション向けの電源ソリューションの開発を専門としています。同氏は 2023 年にテキサス工科大学で電気工学の学士号を取得しています。

## 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ。2016 年 3 月「**統合型ドライバによる GaN 性能の最適化**」テキサス インスツルメンツ ホワイト ペーパー、文献番号 SLYY085 アクセス日：2026 年 9 月 22 日

## その他の資料

- 48V マルチフェーズ アプリケーションの最適化についての詳細は、記事「**Power Tips #151：GaN を使用した 48V 入力マルチフェーズ降圧コンバータの効率向上**」をご覧ください。

**重要なお知らせ**：ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

Icepak® is a registered trademark of ANSYS, Inc.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2026 Texas Instruments Incorporated

# 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むいかなる保証も、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 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