

## Technical Article

# 統合型 GaN コンバータが 大電流電源の設計を再定義する 4 つの方法



- GaN の統合により、スイッチング損失の低減、革新的な回路技術、部品の統合、放熱性能の改善が実現します。
- 中電圧 **GaN 統合型昇降圧コンバータ**は、効率を損なうことなく、シリコン代替品と比較してフットプリントを最大 50% 削減できます。



高電力密度の追求は、大電流電源の設計におけるあらゆる主要な設計判断に影響を与え続けています。データセンターおよびコンピューティング インフラストラクチャは、従来の電源アーキテクチャに負荷をかけるほどのペースで成長しています。ロボティクスから試験 / 測定機器に至るまで、エンジニアは共通の根本的な課題に直面しています。それは、効率を犠牲にすることなく、より多くの電力をより限られたスペースで供給することです。

長年にわたり、シリコンベースのスイッチング コンバータおよびディスクリート パワー FET 設計は、中電圧、大電流アプリケーションにおける実現可能な限界を広げてきました。ただし、スイッチング周波数の上昇とフットプリントの縮小に伴い、シリコン FET の本質的な限界 (高いオン抵抗、逆回復損失、大きい寄生電荷) が、設計目標を達成する上での大きな障壁になってきています。パワー エレクトロニクス業界では、大電流電源設計における実証済みの代替技術として、窒化ガリウム (GaN) 技術への投資、開発、検証に 15 年以上の歳月を費やしてきました。

GaN パワー FET は、シリコン製の同等品と比較し、本質的に優れた電気的特性を備えているだけでなく、高度な統合も実現します。パワー FET、ゲートドライバ、コントローラ、受動部品を単一のコンパクトなパッケージに統合することにより、シリコン方式では到達できない方法で効率と電力密度を最大化します。TI の中電圧 GaN マルチチップ モジュール (MCM) 集積回路 (IC) の中でも、**LMG708B0 80V 降圧コンバータ**と **LMG5126 42V 昇圧コンバータ**は、効率を犠牲にすることなく、シリコンソリューションと比べて最大 50% のフットプリント削減を実現し、大電流アプリケーション (通常は 20A 以上) の設計要件を満たしています。

大電流 DC/DC コンバータ設計の要求に応えるには、GaN による 4 つの主な進歩を可能にしているトレードオフと技術を理解する必要があります。

1. スイッチング損失の低減
2. 革新的な回路技術の採用
3. 部品統合の推進
4. パッケージの放熱性能の改善

GaN が実現するこれらの進歩について、簡単に見ていきましょう。

## 1. スイッチング損失の低減により、高周波化と受動部品の小型化を実現

エンハンスメント モード GaN パワー FET のワイド バンドギャップ (WBG) 特性および横型構造によって、シリコン パワー デバイスよりも低いドレイン - ソース間オン抵抗  $R_{DS(on)}$ 、寄生電荷 (ゲート電荷  $[Q_G]$ 、ゲート - ドレイン電荷  $[Q_{GD}]$ 、出力電荷  $[Q_{oss}]$ ) を実現します。その結果、 $R_{DS(on)} \times Q_G$  および  $R_{DS(on)} \times Q_{oss}$  の性能指数も大幅に改善されます。

また GaN FET は、ボディダイオードとそれに伴う逆回復電荷  $[Q_{RR}]$  を排除しているため、周波数に比例する逆回復損失を除去すると同時に、スイッチノード電圧リンギングとそれに伴う電磁干渉 (EMI) を低減します。予測タイミング方式の GaN 専用ゲートドライバは、約 4ns のデッドタイムを達成し、スイッチ遷移時の消費電力をさらに低減します。

GaN ベースのコンバータは、導通損失の低減に加えて、スイッチング性能の向上と寄生成分の低減により、総消費電力を低減します。これにより、スイッチング周波数の向上、磁気部品および容量性受動部品の小型化、ヒートシンクの削減または排除が可能になります。この結果、効率を犠牲にすることなく、全体的なシステム フットプリントを小さくできます。図 1 は、大電流 DC/DC 降圧および昇圧コンバータ設計における効率性能を裏付けます。

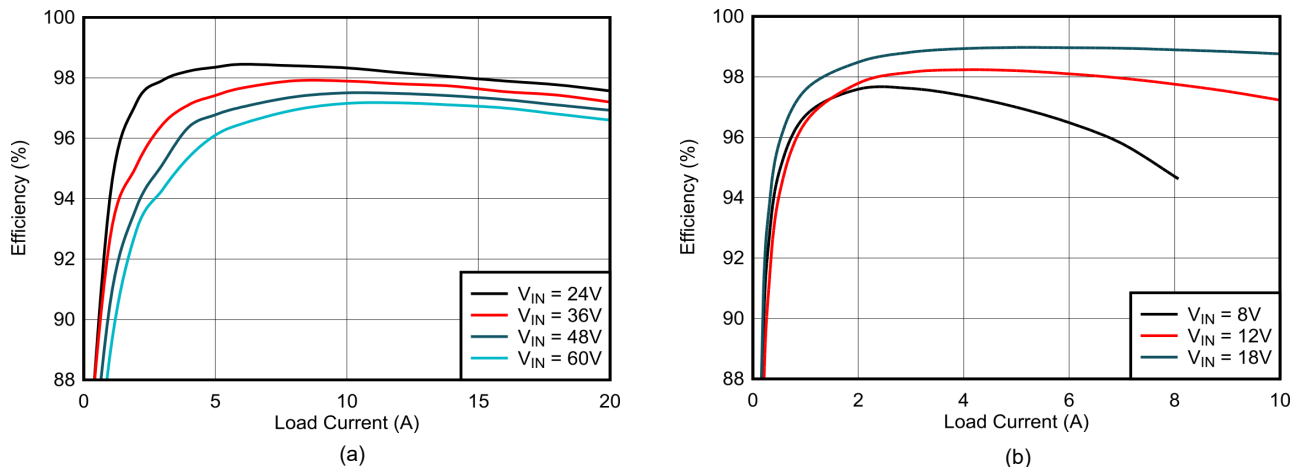


図 1. GaN 降圧コンバータの効率、 $V_{OUT} = 12V$  (a)、GaN 昇圧コンバータの効率、 $V_{OUT} = 24V$  (b)

## 2. 革新的な回路技術の採用により、スケーラビリティを実現し、軽負荷時の効率を改善

マルチフェーズのスタックブルトポロジにより、電流をより大きな倍数でスケーリングできます。また、軽負荷時の効率を向上させるためのフェーズ シェディングを可能にすることで、大電流アプリケーションにおける設計の柔軟性が向上します。この目的のために、LMG708B0 GaN 降圧コンバータは、フェーズ間のデイズチェーン接続を介して周波数と位相の情報を伝達する、インテリジェントなマルチフェーズ クロック同期機能を備えています。その結果、インターリーブにより入力リップル電流が低減され、EMI フィルタの小型化も可能になります。

図 2 は、30mm x 25mm の片面レイアウト上に構成された、 $48V_{IN}$  から  $5V_{OUT}$ 、40A、500kHz の 2 相設計を示しており、従来のシリコンベース設計と比較して実装サイズを半分に低減しています。

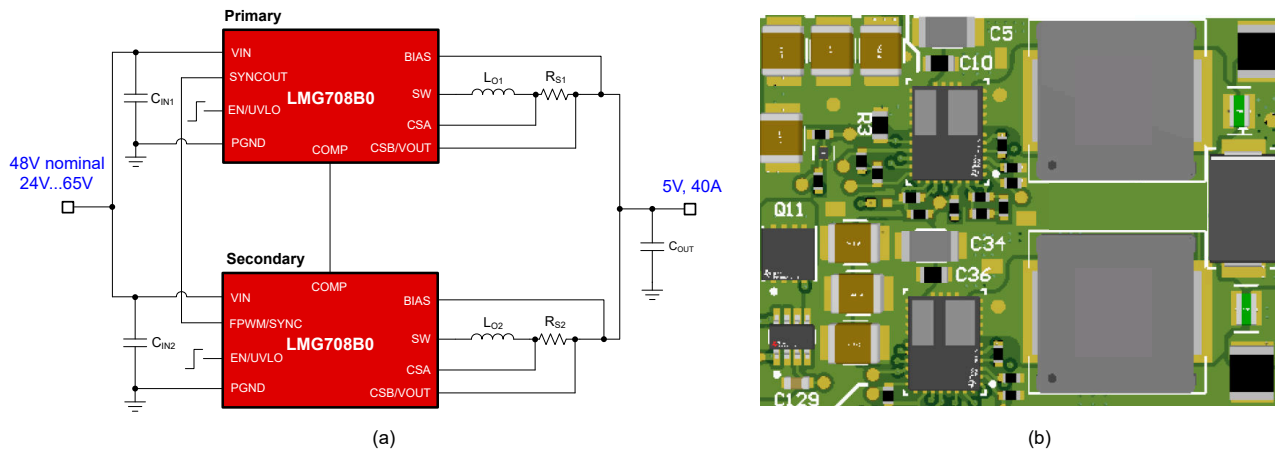


図 2. 簡素化した 2 相降圧コンバータの回路図 (a)、高密度レイアウト (b)

### 3. 能動部品および受動部品の統合推進

従来の中電圧 (12V ~ 80V) 大電流 (20A 超) の昇降圧レギュレータでは通常、ハイサイド/ローサイド FET、ゲートドライバ、ブートストラップ回路、コントローラなど、4 つ以上のディスクリート電源部品を必要とします。図 3 に示すように、TI の MCM 統合アプローチでは、4 つのダイ (2 個の GaN FET、1 個のコントローラ、1 個のブートトレンチ コンデンサ) を統合する、フリップチップ配線対応リードフレーム (FCRLF) パッケージ技術を用いて、4.5mm x 6mm x 0.8mm の 22 ピンパッケージに設計を集約しています。FCRLF パッケージ構造により、FET 電源端子とその下にある PCB 半田パッドの間の寄生インダクタンスを最小化し、スイッチング性能を直接向上させます。

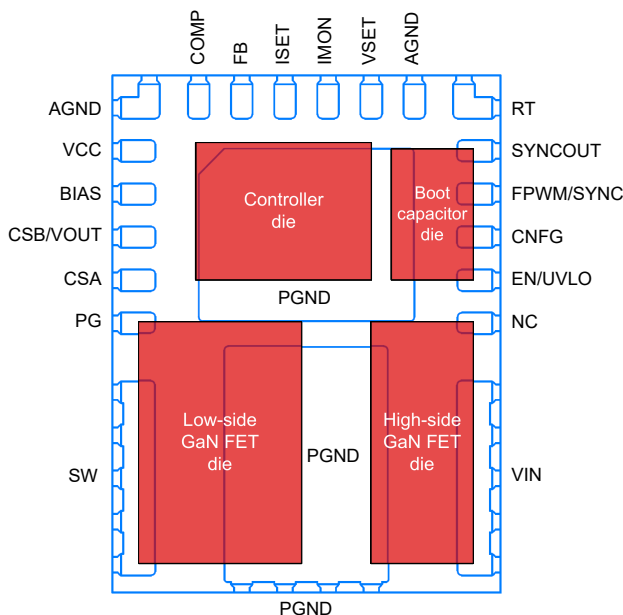


図 3. 部品の統合により電力密度が向上

また、統合により、パワーロープとゲートロープのスイッチング領域が縮小され、EMI 特性が改善します。その結果、寄生インダクタンスが低減され、リングングのないクリーンなスイッチング波形が得られます。これは、GaN スwitchング性能に不可欠な高スルーレートの電圧および電流を実現する上で極めて重要です。これらの統合の利点を組み合わせることで、効率とサイズに関連する性能指標に対して、設計を最適化できます。

#### 4. パッケージの放熱性能の改善

LMG708B0 および LMG5126 GaN コンバータ向けの FCRLF パッケージング技術は、デュアル熱伝導経路を備えた熱特性強化パッケージをサポートしています。両方の GaN FET ダイの裏面はパッケージ上面に露出しており、上面側と底面側にサーマルランドパッドが形成されています。これにより、デバイス上部に取り付けられたヒートシンクを用いて、オプションの両面冷却を行うことができます (図 4 参照)。

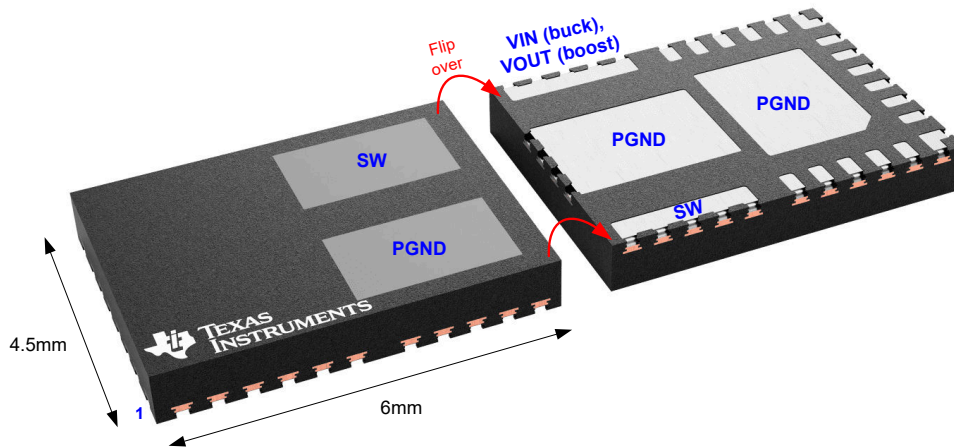


図 4. 熱特性強化パッケージの上面図および底面図

ヒートシンクを使用しない場合、熱の大部分は底面側のサーマルパッド (PGND) および一体化されたサーマルバー (VIN または VOUT、SW) を経由して、マルチレイヤ基板および周囲環境に放散されます。ヒートシンク構成では、熱は IC から基板へ伝わると同時に、それとは反対のパッケージケース方向にも、露出した上面側のサーマルパッド (SW、PGND) を経由して熱が流れ、取り付けられたヒートシンクに伝わって上面冷却が行われます。

これにより、図 5 に示すように、接合部周囲間の並列熱抵抗パスが形成され、実効熱抵抗が低減されます。その結果、特定の IC 消費電力に対して動作温度を低くできるか、規定のケース温度条件に対して高い電流能力を実現できます。

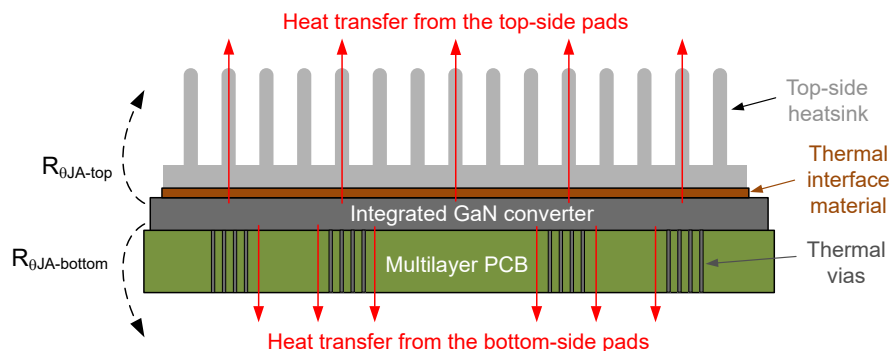


図 5. 熱インピーダンス低減のためのデュアル熱伝導経路の図

#### まとめ

スイッチング損失の低減、革新的な回路手法の採用、部品統合の推進、パッケージの放熱性能の改善により、統合型 GaN コンバータは、シリコンベースの設計ではもはや対処できない電力密度の壁を克服するのに役立ちます。統合型 GaN コンバータは、12V ~ 80V の DC/DC 変換領域において、より高い周波数および電力密度で動作することで、シリコンベースの代替品と比べて最大 50% 小さいフットプリントで優れた効率を実現します。

## その他の資料

- LMG708B0 降圧コンバータ評価基板 (EVM) の [20A 単相](#) および [40A 2 相](#) 構成、LMG5126 [15A 昇圧コンバータ EVM](#) を使用した、GaN 性能の評価をご覧ください。
- 統合型 GaN を採用した  $48V_{IN}$ 、960W、4 相降圧コンバータの [リファレンス デザイン](#) および、3V ~ 42V 同期整流 GaN 昇圧コンバータの [リファレンス デザイン](#) をご覧ください。
- [LMG708B0](#) および [LMG5126](#) コンバータ用のクイックスタート計算ツールがダウンロード可能です。

## 著者について

Timothy Hegarty は、テキサス インストルメンツのスイッチング レギュレータ事業部に所属するシニア メンバー テクニカル スタッフです。25 年以上にわたるパワーマネジメント分野のエンジニアリング経験を有しており、多数の会議論文、記事、セミナー、ホワイト ペーパー、アプリケーション ノートを執筆してきました。現在は、車載、産業、データセンターのアプリケーション向けに、広い入力電圧範囲を備えた高密度、低 EMI のスイッチング レギュレータの実現を可能にする技術に注力しています。

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 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、

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