

統合型の絶縁型バイアス モジュールを活用して電力密度と信頼性を向上させる方法

Mark Allen Esquillo

Marketing Manager, High-Voltage Power

Carter Pollan

Applications Engineer, High-Voltage Power

概要

絶縁型バイアス電源は、トラクション インバータ、ソーラー インバータ、データ センターの電源システムなどの高性能パワー エレクトロニクスにとって要となるコンポーネントですが、その実現には電力密度と開発期間との間でトレードオフが伴います。絶縁型 DC/DC の設計は、ディスクリットトランスとスイッチング部品に依存しています。このため、多くの場合、電力密度、信頼性、市場投入までの期間の要件を満たすための課題が発生します。

TI の IsoShield™ パッケージング テクノロジーを採用した絶縁型バイアス パワー モジュールは、スイッチング電界効果トランジスタ (FET)、制御回路、平面絶縁型トランスをコンパクトなパッケージに統合することで、これらの課題に対処します。この記事では、これらのモジュールを活用して基板面積を削減しつつ、電気的および環境的な外乱に対する耐性を向上させる方法を解説すると同時に、最新の高電圧システムで設計を簡素化する方法を解説します。

電力密度の向上によりソリューション サイズを小型化すると同時に、EMI 要件を満たす方法

絶縁型バイアス電源の設計は、多くの場合、基板面積、放熱熱性能、電気的絶縁という複数の制約のバランスを取る必要があります。電気自動車のトラクション システムやデータ センター向け電源アーキテクチャなどのアプリケーションにおいては、高電圧ドメイン (多くの場合は 800V 以上) と低電圧制御回路の間で絶縁を設ける必要があります。

従来型の設計では、ディスクリットフライバック コンバータトポロジを使用して絶縁型バイアス電源を実装しています。このような実装では、トランスが通常、プリント基板 (PCB) 上で最

大の部品であり、実現可能な電力密度が制限され、ソリューションの高さが増します。

IsoShield 技術を採用した絶縁型バイアス パワー モジュールは、パッケージ内に直接平面型トランスを搭載し (図 1 を参照)、独自のボンディング接続を使用したマルチチップ ソリューションを使用して非常にコンパクトな絶縁モジュールを実現することで、高い電力密度に対応し、システム設計で最適化されたサイズ要件を満たすことができます。

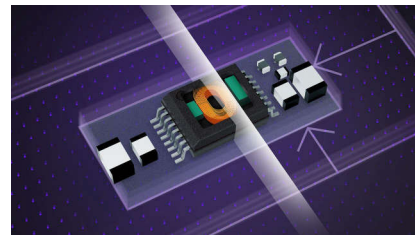


図 1. 絶縁型パワー モジュール (プレーナー型トランス内蔵)

中電圧の **UCC34141-Q1** と低電圧の **UCC33420-Q1** は、約 1.5W の絶縁出力電力を供給します。前者は 5.85mm x 7.50mm x 2.65mm の SOIC (スモール アウトライン IC) パッケージに封止されており、後者は 4mm x 5mm x 1mm の WSON (非常に小型のアウトライン、リード端子なし) パッケージに封止されています。

これらのパワー モジュールは、トランスとスイッチング素子を統合しており、ディスクリットフライバック実装に比べてバイアス電源ソリューションの面積を約 70%、従来のトランス内蔵ソリューションに比べて 35% 以上削減します。これらの縮小は、300% を上回る電力密度の改善につながります。

フットプリントの削減に加えて、垂直プロファイルも大幅に削減されます。従来の設計で最も背の高い部品であるディスクリットトランスを排除すると、モジュールの高さがわずか 1mm

にまで抑えることが、スペースに制約のあるアプリケーションにとって特に有益です。図 2 は、ディスクリート部品によるフライバックコンバータの実装 (左側) から、完全に集積化されたソリューション (右側) へと移行することに伴う、ソリューション面積の削減を示しています。

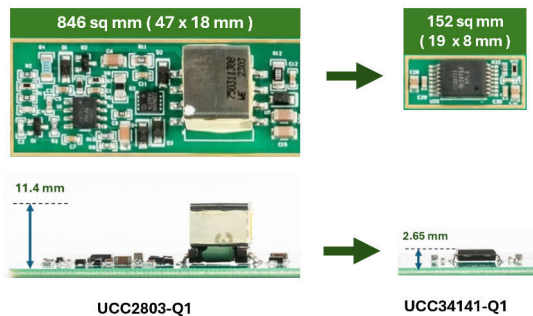


図 2. ディスクリートソリューションと、完全統合型の絶縁モジュールの上面図と側面図の比較

多くの場合、高密度ソリューションにおいて、放熱性能と電磁干渉 (EMI) は懸案事項です。ただし、最適化済みのパッケージと内部レイアウトを採用すると、従来のモジュールに比べて放熱特性を最大 30% 改善すると同時に、最小限のフィルタリング (図 3) のみで、CISPR (国際無線障害特別委員会) 25 と CISPR 32 の各規格への準拠を維持することができます。

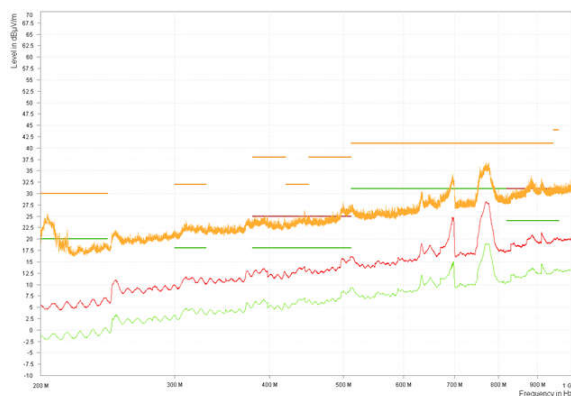


図 3. CISPR 25 放射エミッション データ (Pout = 1W)

標準的な絶縁型バイアス電源向けの EMI ソリューションの設計は、簡単ではありません。コストのかかるフィルタリング部品を、ディスクリート実装における独自のフィルタリングニーズと組み合わせるには、経験、時間、テストが不可欠です。統合型ソリューションの性質上、フィルタリングのニーズはより高度に標準化されています。TI は、CISPR 規格に合格する EMI

ソリューションの実装方法を説明したアプリケーション ノートを開発することで、この事実を有効活用してきました。

図 4 に示す、ソリューションおよび小型フィルタを採用したレイアウトは、CISPR 25 Class 5 要件を満たしています。いくつかのレイアウト手法を組み合わせることで、CISPR 25 Class 5 クリアするために必要な追加部品表 (BOM) はごくわずかで済みます。この例では、強調表示されているコンデンサ、インダクタ、フェライトビーズを使用しています。

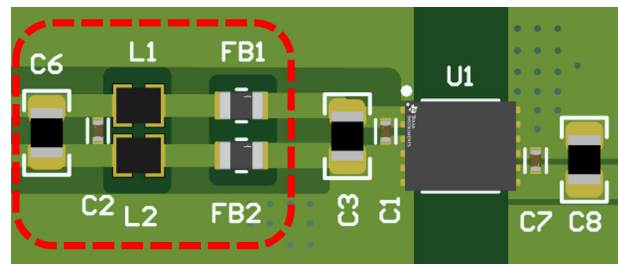


図 4. 小型のソリューションとフィルタ サイズは、CISPR 25 Class 5 の要件を満たします

いくつかのレイアウト手法を使用すると、フィルタリング部品の数をさらに減らすことができます。高周波フィルタコンデンサ C1 および C7 を IC の近くに配置すると、高周波ノイズが最小化されます。フィルタリング インダクタとフェライトビーズの下にある銅を取り除くことで、寄生成分によるリークが最小限に抑えられ、プリント基板の最下層のグランドプレーンを延ばすと、ファラデー ケージが生成されます。

システムの耐久性と信頼性の向上

大電力システムは、電氣的ノイズの多い、物理的に過酷な環境下で動作します。バイアス電源は、高速なスイッチング遷移、強い磁界、機械的振動でも安定した動作を維持する必要があります。IsoShield テクノロジーを採用した統合型バイアス電源モジュールは、いくつかの耐性メカニズムを通じてこれらの課題に対処します。

CMTI

最新の電力段、特にワイド バンドギャップ デバイスを使用ものでは、高速なスイッチング遷移により、1 ナノ秒あたり数百ボルトを超える電圧スルー レートを生成する可能性があります。寄生容量が大きい絶縁バリアを使用すると、バリアを通り抜ける形でこれらの外乱を結合させる可能性があります。

IsoShield テクノロジーを採用したモジュールにより、1 次巻線と 2 次巻線の間の寄生容量が 3pF 未満に最小限に抑えられ、約 250V/ns の同相過渡耐性 (CMTI) を実現して、トラクション インバータやモーター ドライブなどの高電圧スルーレート環境で安定した動作を実現できます。

統合型ソリューションを使用すると、ディスクリートの絶縁型バイアス電源に比べて CMTI テストのリスクを大幅に低減できる可能性があります。エンジニアはすでにデバイス レベルとシステム レベルの両方のテストを完了しているからです。ディスクリート ソリューションを使用する場合は、CMTI の結果はアプリケーションごとに異なる場合があります。統合型ソリューションではより一貫性のある結果が得られます。

放射耐性

付近のスイッチング ノードによって発生する高周波の電磁界は、制御用電子機器の混乱を招く可能性があります。IsoShield 技術を採用した統合型モジュールは、広範な周波数帯域にわたる強力な EMI に耐えることができるので、10MHz ~ 1GHz の周波数範囲において 100V/m を上回る電磁界環境下でも連続動作を実現できます。これらのモジュールは、CISPR 25 の要件を満たしているほか、追加のシールドや複雑なフィルタリングなしで、国際電気標準会議 61000-4-3 で規定された制限値を上回っています。

磁界耐性

トラクション インバータのバス バーなどの大電流導体は、強力な磁界を生成し、外部の磁気構造によってディスクリートトランスベースの電源に影響を及ぼす可能性があります。IsoShield 技術を採用したモジュールは、100mT を超える磁界で動作するため、大電流パワー パスの近くに配置したり、医療用画像処理システムのような大きな磁気構造に配置した場合でも安定した性能を確保できます。

振動耐性

機械的振動は、車載および産業環境における一般的な課題です。大型のディスクリートトランスは、半田付け部分と PCB パッドに機械的ストレスを引き起こす可能性があり、信頼性の問題につながる可能性があります。内蔵バイアス電源モジュールは、小型フォーム ファクタで低プロファイルなので、ディスクリートトランス実装に比べて、半田付け部分にかかる機械

的トルクを 90% 以上低減でき、振動耐性を大幅に向上させることができます。

設計サイクルの高速化

トランスの選択と設計は、絶縁型電源開発で最も難しい要素の 1 つです。巻線構成と配線、漏れインダクタンスと結合、寄生容量、熱特性、機械的パッケージなど、多様な設計パラメータのバランスを取る必要があります。カスタムトランスの開発は、設計が大幅に複雑になり、製品開発時間が大幅に増えます。

統合型バイアス電源モジュールは、トランスとスイッチング FET を組み合わせ、受動部品を単一のデバイスにまとめることで、これらのタスクの多くを削減できます。この統合により、部品点数が削減され、システム設計が簡素化されます。サーバー電源やバッテリー バックアップ ユニットの場、このような設計の複雑さを緩和すると、開発期間を大幅に短縮できます。

まとめ

電気自動車、AI 駆動型データ センター、再生可能エネルギー システムなどのアプリケーションで電力需要が増加し続ける中、ますます制約の厳しいフォーム ファクタの枠内で高性能を実現する必要性が高まっています。設計者はもはや単一のパラメータ向けの最適化を行っていません。むしろ、電力密度、効率、信頼性、開発速度のバランスを維持する必要があります。

IsoShield 技術に基づく統合型絶縁バイアス電源モジュールは、この設計パラダイムを根本から変革します。トランス、スイッチング素子、絶縁バリアをコンパクトで最適化されたパッケージに組み込むことで、これらのソリューションはディスクリート実装に関連する従来の多くのトレードオフを解消し、ソリューション サイズと複雑さを大幅に低減するとともに、電氣的耐性、放熱性能、信頼性を向上させます。

同様に重要なことは、この高度な統合により、より迅速かつ予測可能な設計サイクルが実現することです。エンジニアは、既存のアーキテクチャの多くの部分を再利用しながら、カスタム磁気素子の必要性を減らし、広範な検証の必要性を低減できるため、性能を犠牲にせずに開発期間を短縮することができます。

著者について

Mark Allen Esquillo は、高電圧電源事業部門のマーケティング マネージャで、高度に差別化された絶縁型ゲートドライバとバイアス ソリューションを担当しています。同氏は、製品開発、マーケティング、システム / アプリケーションのエンジニアリング、運用の分野で 30 年以上の経験を積んできました。同氏は日本の日本工業大学でメカトロニクス工学の学士号を取得し、フィリピンのマプア工科大学で電気工学の学士号を取得しています。

Carter Pollan は、テキサス インストルメンツのアプリケーション エンジニアで、車載と産業用の各システムにおける統合型絶縁バイアスと絶縁型ゲートドライバの各アプリケーションをサポートしています。同氏はブリガム・ヤング大学で電気工学の学士号を取得しています。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスト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。

IsoShield™ is a trademark of Texas Instruments.
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