

## Technical Article

## 絶縁型バイアストランスの寄生容量が EMI 性能に及ぼす影響



Pradeep Shenoy

小型の絶縁型電源は、電気自動車のトラクション インバータからファクトリ制御モジュールまで、各種アプリケーションで絶縁バリアをまたぐ形で電力を供給します。この **Power Tip** では、さまざまな絶縁型バイアス電源トポロジと、それらの電磁干渉 (EMI) 性能について検討します。ご存じのとおり、絶縁トランス両端間に存在する寄生容量がコモン モード ノイズ伝搬の主要因になっています。

トラクション インバータ内で、ゲートドライバはハイパワー スイッチを作動させます。このスイッチは、通常、絶縁型ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) またはシリコン カーバイド (SiC) MOSFET で、高電圧バッテリーと電気機器の間でエネルギーを変換します (図 1 を参照)。ゲートドライバは通常、絶縁型であり、ゲートドライバ IC の一部は低電圧ドメイン (1 次側) に接続され、別の部分は高電圧ドメイン (2 次側) に接続されます。ゲート駆動制御信号は、1 次側のマイコンから出力され、2 次側に渡されて、パワー スイッチのオンとオフを切り替えます。

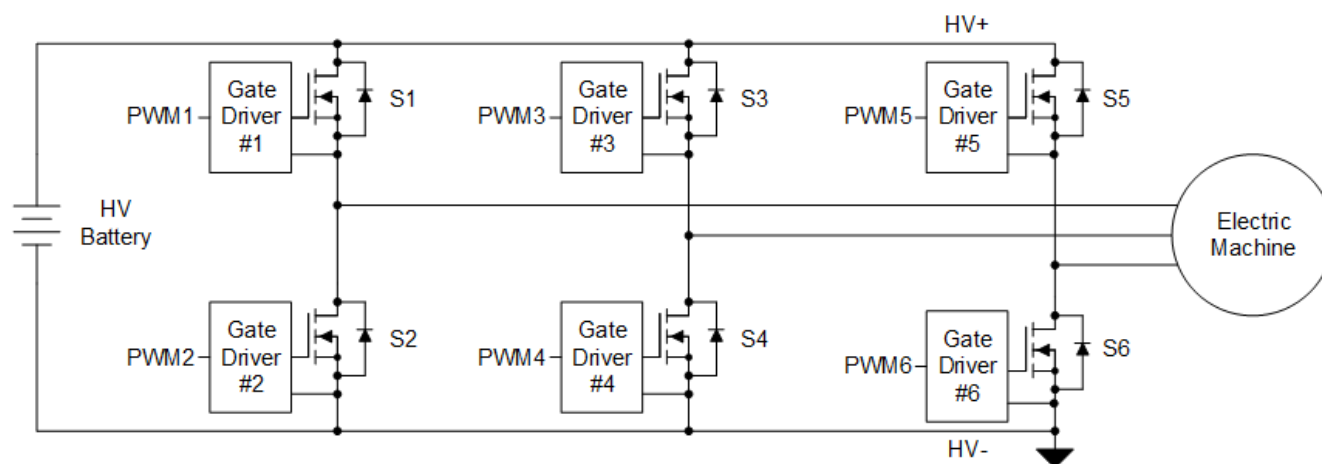


図 1. 絶縁型ゲートドライバを使用したトラクション インバータ。出典: テキサス・インスツルメンツ

絶縁型ゲートドライバの 2 次側は、パワー スイッチのオンとオフを切り替えるために、絶縁型電源を必要とします (図 2 を参照)。

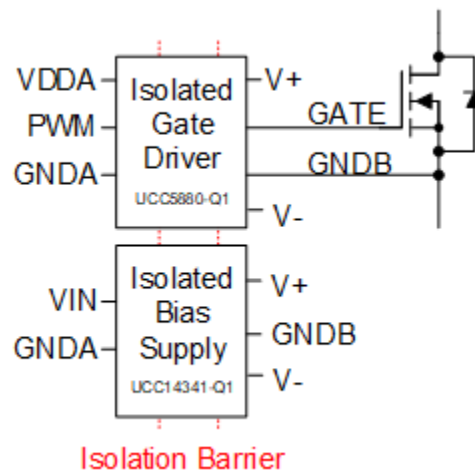


図 2. 絶縁型バイアス電源は、絶縁型ゲートドライバの絶縁バリアをまたいで電力を供給します。出典:テキサス・インスツルメンツ

絶縁型バイアス電源の電力定格は通常、かなり低く (10W 未満) 抑えられています。以下の式で、各電力要件を見積もります。

$$P_{DRV} = V_{DRV} \times Q_g \times F_{SW} \quad (1)$$

ここで、 $V_{DRV}$  はゲート駆動電圧、 $Q_g$  はスイッチのゲート電荷、 $F_{SW}$  はスイッチのスイッチング周波数です (絶縁型バイアス電源のスイッチング周波数ではありません)。ゲート駆動電圧は、選択するスイッチによって異なりますが、通常は正電圧レールで +15V ~ +25V、負電圧レールで -8V ~ 0V の範囲です。

絶縁型バイアス電源の一般的なトポロジとしては、フライバック、プッシュプル、インダクタ インダクタ コンデンサ (LLC) があります。一部の統合型パワー モジュール (パッケージにトランスを含む) は、1 次側でフル ブリッジ構成を使用しています。テキサス・インスツルメンツ (TI) の LM5180-Q1 などのフライバック コンバータはよく知られており、良好な出力電圧レギュレーション性能を提供し、かなり効率的で、フォトカプラを使用しない (1 次側レギュレーションを使用) 設計が可能です。複数の絶縁型出力が可能です。短所は、周波数範囲が制限される傾向があり (350kHz 未満)、トランスのサイズが大きいことです。TI の SN6507-Q1 のようなプッシュプル コンバータや、TI の UCC25800-Q1 のような LLC コンバータはシンプルですが、閉ループ フィードバック機能はありません。その結果、出力電圧レギュレーション性能が低下し、前段レギュレータ、後段レギュレータ、またはその両方が必要になる可能性があります。統合型パワー モジュール (たとえば TI の UCC14341-Q1) は出力電圧をレギュレート可能で、シンプルで小型ですが、その欠点は出力電力が制限され (通常は 1.5W 未満)、他の選択肢と比べて低い効率になります。

皆さんが疑問に思うのは、さまざまなトポロジの EMI 性能です。特定のトポロジは、電磁両立性の結果に多かれ少なかれ影響を及ぼすのでしょうか？これらの質問に答えるために、最初に絶縁トランスを見てみましょう。トランスの巻線間にはいくつもの寄生容量が存在します。これらの寄生容量は、トラクション インバータ スイッチ ノード ( $V_{SW}$ ) が HV+ ノードと HV- ノードの間で切り替わると、充電または放電されます。コモン モード電流の短いパルスが、スイッチング遷移中に寄生容量を充電または放電します。コモン モード電流は、寄生容量とスイッチ ノードのスルー レート ( $dv/dt$ ) に比例します。容量が大きい場合またはより高速なスイッチ ノードのスルー レートは、窒化ガリウム (GaN) や SiC のようなワイド バンドギャップ半導体を採用する場合と同様、より大きなコモン モード電流につながります。図 3 に、この寄生容量と、その充電と放電に使用されるコモン モード電流を示します。

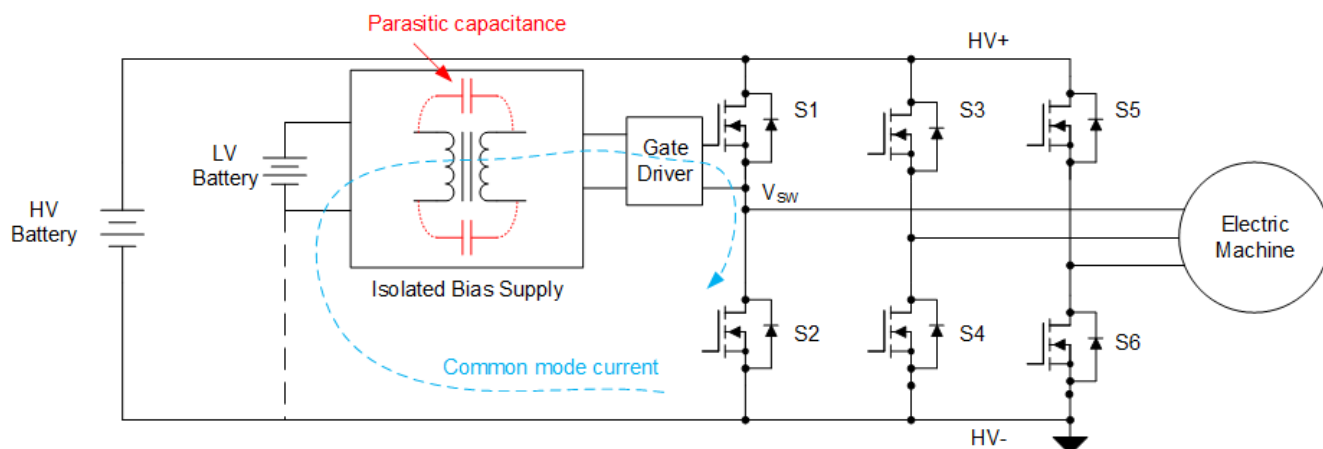


図 3. コモン モード電流は、スイッチ ノード ( $V_{sw}$ ) の遷移時にトランスの寄生容量を充電します。出典:テキサス・インスツルメンツ

コンバータのトポロジは、トランスの設計と、その結果生じる寄生容量に影響を及ぼします。フライバック コンバータのトランス (または命名規則が必要な場合は結合型インダクタ) は、リーケージ インダクタンスの低減のために 1 次側と 2 次側の間で強力な結合が行われるように設計されています。リーケージ インダクタンスは、スナバ回路で望ましくない電圧スパイクと電力損失を引き起こします。リーケージ インダクタンスを小さくするように設計すると、巻線間容量が通常大きくなり、20pF 以上になる可能性があります。一方、共振タンク内でトランスのリーケージ インダクタンスを使用するように LLC コンバータを設計することが可能です。その結果、リーケージ インダクタンスを最小化するようにトランスを設計する必要がなくなり、寄生容量を約 2pF にすることができます。ご存じのとおり、これはコモン モード電流の低減に役立ちます。

表 1 に、4 つの絶縁型バイアストポロジを使用して、トランスの寄生容量がコモン モード電流に及ぼす影響を実験的に検証する際のいくつかのパラメータを示します。すべてのコンバータは、15V<sub>IN</sub>、15V<sub>OUT</sub>、1.5W アプリケーション向けに設計されています。各トポロジのスイッチング周波数は標準値に基づいており、それに従ってトランスを設計しています。ご存じのとおり、フライバック コンバータトランスはリーケージ インダクタンスが最小で寄生容量が最大です。LLC コンバータトランスは、リーケージ インダクタンスが最大であり、寄生容量が最小です。

表 1. 絶縁型バイアス電源コンバータの 4 つの例でのトランスのパラメータ。出典:テキサス・インスツルメンツ

	SN6507-Q1 push-pull	UCC25800-Q1 LLC resonant	LM25180-Q1 flyback	UCC14131-Q1 module
Magnetizing inductance	196 $\mu$ H (min)	67 $\mu$ H (min)	27 $\mu$ H (min)	N/A
Leakage inductance	0.56 $\mu$ H	2.25 $\mu$ H	0.3 $\mu$ H	
Parasitic capacitance	6.5 pF	2.6 pF	21 pF	3.5 pF

広い範囲で一連のテスト (効率、ロードレギュレーション、入出力リップル、熱、伝導および放射 EMI) を実施して、これらの絶縁型バイアス電源トポロジを比較しました。システム内の複数の絶縁型グランド間で測定されるコモン モード電流に注目するために、同僚たちは 2 つのグランドの間に 1 本の配線を接続し、大電力スイッチ (この例では LMG3522R030-Q1 を使用した GaN ハーフブリッジ) が 400V でオンおよびオフしたときのコモン モード電流を測定しました。図 4 と図 5 に、高電圧スイッチ ノードのスルーレートがそれぞれ 40V/ns と 100V/ns の結果を示します。

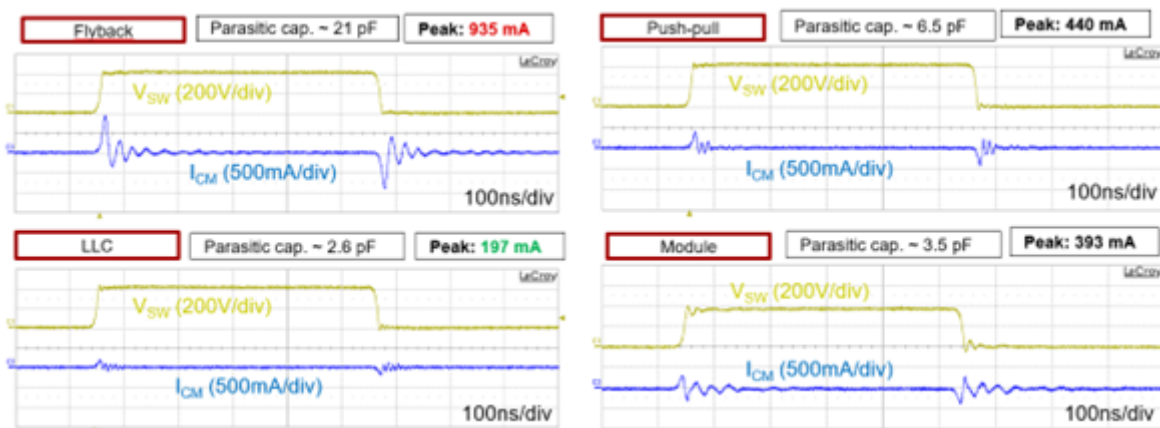


図 4. スイッチ ノードのスルー レート 40V/ns でのコモン モード電流の比較。チャンネル 1 は高電圧スイッチ ノード (200V/div)、チャンネル 2 はコモン モード電流 (500mA/div) です。出典:テキサス・インスツルメンツ

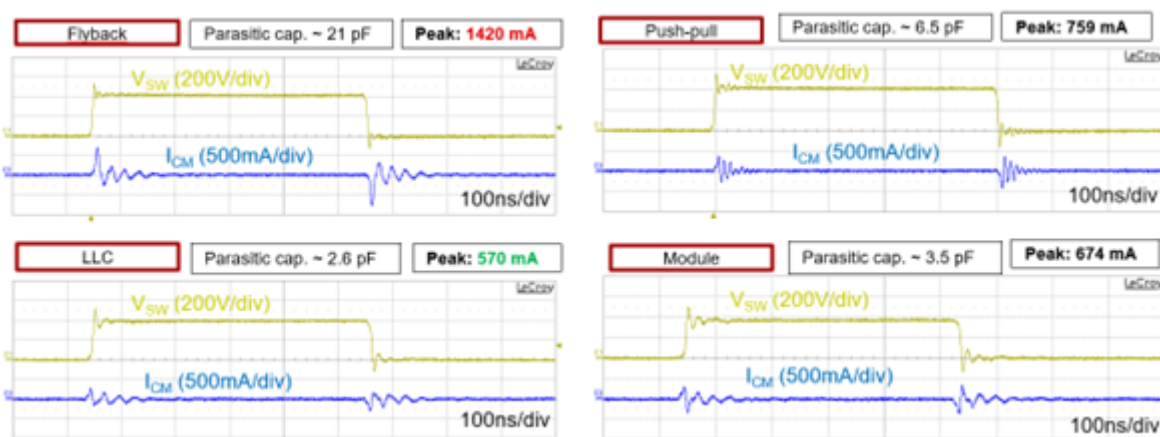


図 5. スイッチ ノードのスルーレート 100V/ns でのコモン モード電流の比較。チャンネル 1 は高電圧スイッチ ノード (200V/div)、チャンネル 2 はコモン モード電流 (500mA/div) です。出典:テキサス・インスツルメンツ

測定結果から、フライバックトランスのコモン モード電流が最大であったことがわかります (40V/ns と 100V/ns のスルー レートで 935mA と 1,420mA)。このトランスは寄生容量が最大であったので、これは予想どおりの結果です。また、LLC コンバータは寄生容量が最小であったため、コモン モード電流の測定値は最小でした (40V/ns と 100V/ns のスルー レートでは 197mA と 570mA)。大きなコモン モード電流スパイクは、高電圧ドメインから低電圧ドメインにノイズを伝導し、グラウンド バウンスが発生するので、有害な問題となります。そして、パルス抜け、レギュレーション損失、予期しないシャットダウンなど、コンバータの動作不良につながる可能性があります。

コモン モード電流は、特に低減が困難な場合があります。コモン モード電流の問題に対処する最善の方法の 1 つは、コモン モード電流が発生しないようにすることです。ここで説明したアプリケーションは電気自動車のトラクション インバータですが、その原理はグリッド接続コンバータやサーバー電源などのアプリケーションにも適用できます。

## 関連コンテンツ

- [Power Tips #119: EMI 性能を重視して電源トランスの特性評価を行う方法](#)
- [Power Tips #118: 交互に配置されたグラウンド プレーンによる絶縁型電源のノイズ フィルタ性能の向上](#)
- [Power Tips #117: フル動作条件でのテストに先立つ、LLC 共振タンクの測定](#)
- [Power Tips #116: PFC の THD を低減する方法](#)
- [Power Tips #115: GaN スイッチ統合により PFC で低 THD と高効率を実現する方法](#)

## その他の資料

- [Flyback Transformer Design Considerations for Efficiency and EMI](#) (フライバックトランスの設計上の考慮事項: 効率と EMI)
- [Isolated Gate-Driver Bias-Supply Design Considerations](#) (絶縁型ゲートドライバ向けバイアス電源設計時の検討事項)

この記事は、以前 [EDN.com](#) で公開された記事です。

## 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

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, 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、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](#) 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月