

## Technical Article

## EMI 性能を重視して電源トランスの特性評価を行う方法



Brian King

パワートランスは、多くの場合、絶縁型スイッチングパワーコンバータにおける同相ノイズの主なソースです。なぜですか？トランスの内部では絶縁バリアの 1 次側と 2 次側の巻線が近接しており、通常は 1mm 未満の間隔であるため、隣接する巻線の間に大きな寄生容量が生じます。

これらの巻線に発生する電圧には通常大きな AC 成分が含まれます。たとえば、図 1 に示すフライバックコンバータでは、1 次巻線は 1 次スイッチのドレインに接続され、多くの周波数にわたって大きな AC 成分を含む電圧波形があります。この AC 電圧は、寄生容量を介して 1 次側から 2 次側に同相電流を注入しますが、これは多くの場合電磁干渉(EMI)の問題の原因になります。

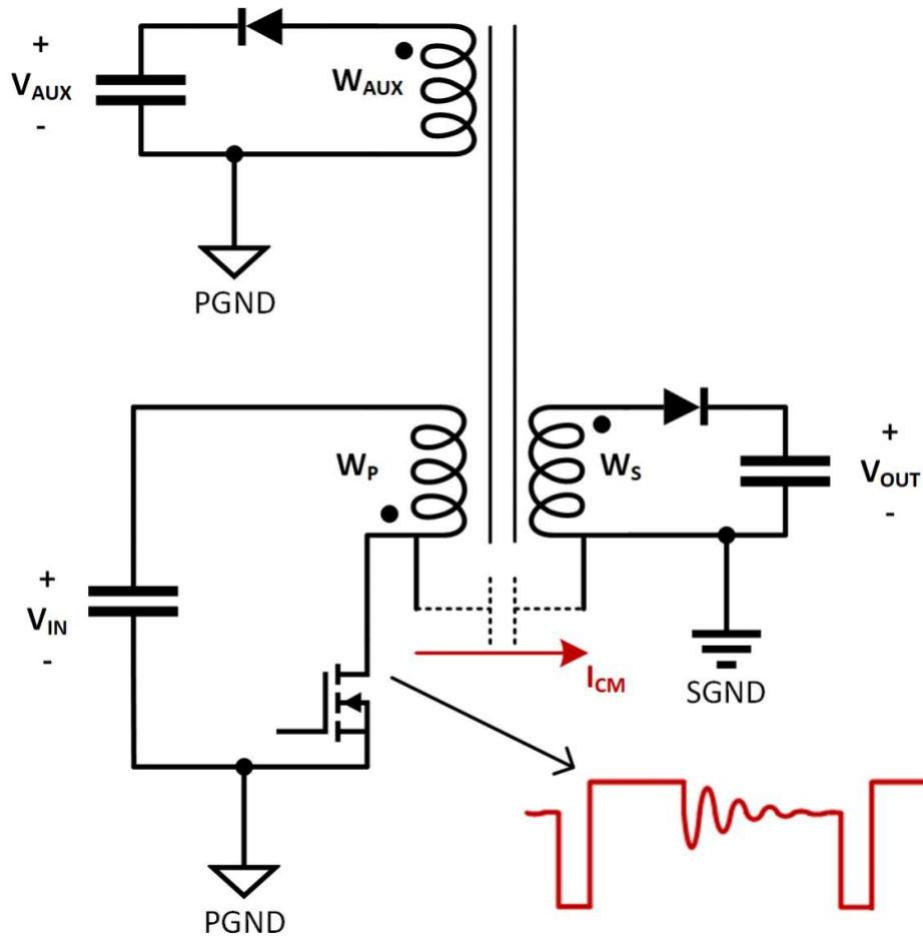


図 1. フライバックパワートランスが生成する同相モードノイズ出典:テキサス・インスツルメンツ

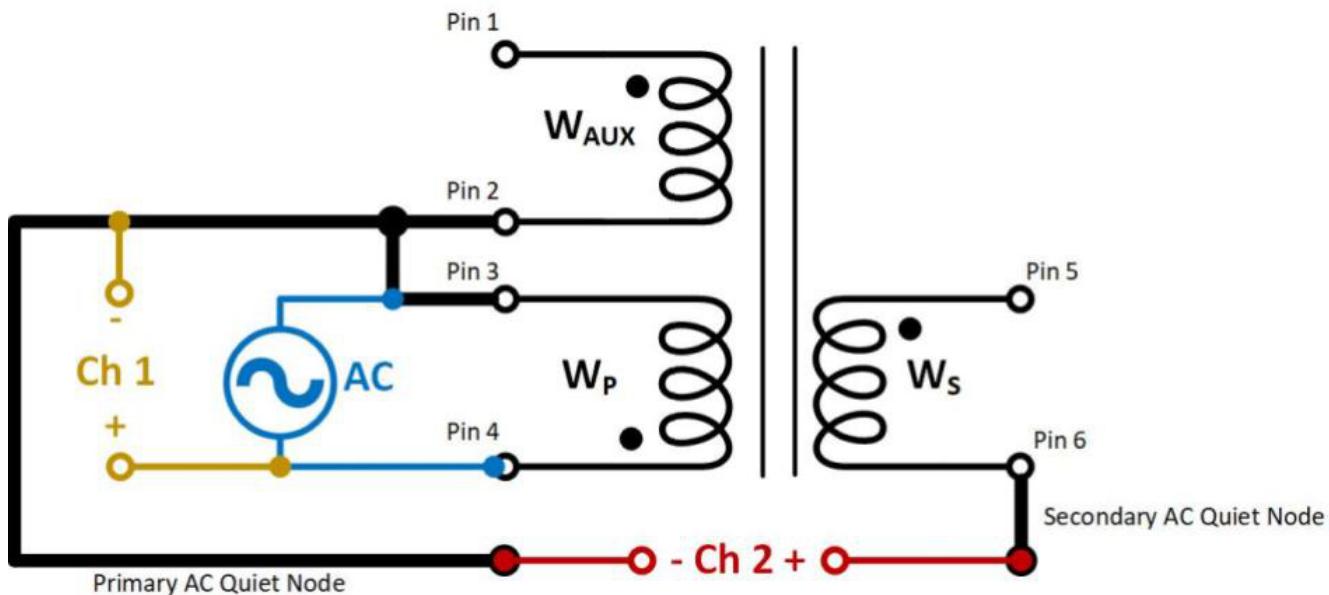
テキサス インスツルメンツの電源設計セミナーの文書『Flyback Transformer Design Considerations for Efficiency and EMI (フライバックトランスの設計上の考慮事項:効率とEMI)』で説明しているように、シールドや同相バランスなどのトランス設計手法を使用すると、トランスの EMI への影響を最小限に抑えることができます。ただし、トランスが EMI にどれだけ寄与するか、またトランス構造の最適化方法を確認するのは非常に困難で時間を要することがあります。トランス設計をテストする場合、各トランスを PCB に半田付けしてパワーコンバータを EMI 試験装置に取り付け、スキャンを実行する必要

があります。トランスの EMI 性能が不十分な場合、トランスと PCB の半田付けを取り除いてからもう一度試す必要があります。

この Power Tip では、トランスを基板に半田付けする前に、トランスの EMI 特性を確認する非常に簡単な方法を紹介します。

関数発生器とオシロスコープのみを使用して、回路内のトランスの条件を再現し、トランスの同相モード EMI シグネチャを測定できます。**図 2** の図は、**図 1** で使用するトランスに対してこの測定を構成する方法を示しています。このトランスには、1 次側に 2 つの巻線 ( $W_P$  と  $W_{AUX}$ ) があり、2 次側に 1 つの巻線 ( $W_S$ ) があることに注意してください。

まず、短いワイヤを使用して、1 次側に AC クワイエットノードを接続します。AC クワイエットノードはトランス上の任意のピンで、回路内の 1 次側グランドに直接接続、またはコンデンサを介して接続します。この例では、ピン 2 とピン 3 はどちらも、絶縁バリアの 1 次側にある AC クワイエットノードです。2 次側に複数の巻線を持つトランスがある場合、すべての 2 次側クワイエットノードと一緒に接続する必要もありますが、それらのノードを 1 次側クワイエットノードに接続することはできません。



**図 2.** 短いワイヤを使用して AC クワイエットノードを 1 次側と 2 次側に接続し、1 次側巻線に小さな正弦波を印加し、1 次側と 2 次側の AC クワイエットノード間の誘導電圧と、関数発生器または同相信号除去比から印加される電圧との比率を測定する、トランスの同相信号除去比テストセットアップ。出典：テキサス・インスツルメンツ

次に、関数発生器を使用して、トランスの 1 次側巻線に小さな正弦波を印加します。これは 1 次巻線電圧を再現しているが、ここでは安全な低電圧の単一周波数でテストします。トランスの寄生容量は電圧振幅にあまり依存しないため、信号の振幅はそれほど重要ではありません。

最後に、スコープの 1 つのチャネルを使用して、関数発生器が印加する電圧を測定します。別のチャネルを使用して、1 次側と 2 次側の AC クワイエットノードの間に誘導される電圧を測定します。これら 2 つの信号の比は本質的に同相信号除去比 (CMRR) であり、開発するパワートランスがその周波数で同相モードノイズにどれだけ寄与するかを示します。

**図 3** に、2 つの異なるトランスに対する 100kHz でのテストの結果を示します。トランス #1 で使用される構造の同相信号除去比は  $-39.6\text{dB}$ 、トランス #2 の同相信号除去比はこれより高く  $-31.4\text{dB}$  となります。これはトランス #1 で発生する同相モードノイズがトランス #2 が発生するものより少ないことを意味します。関数発生器を使用すると、さまざまな周波数でトランス特性を調べることができます。

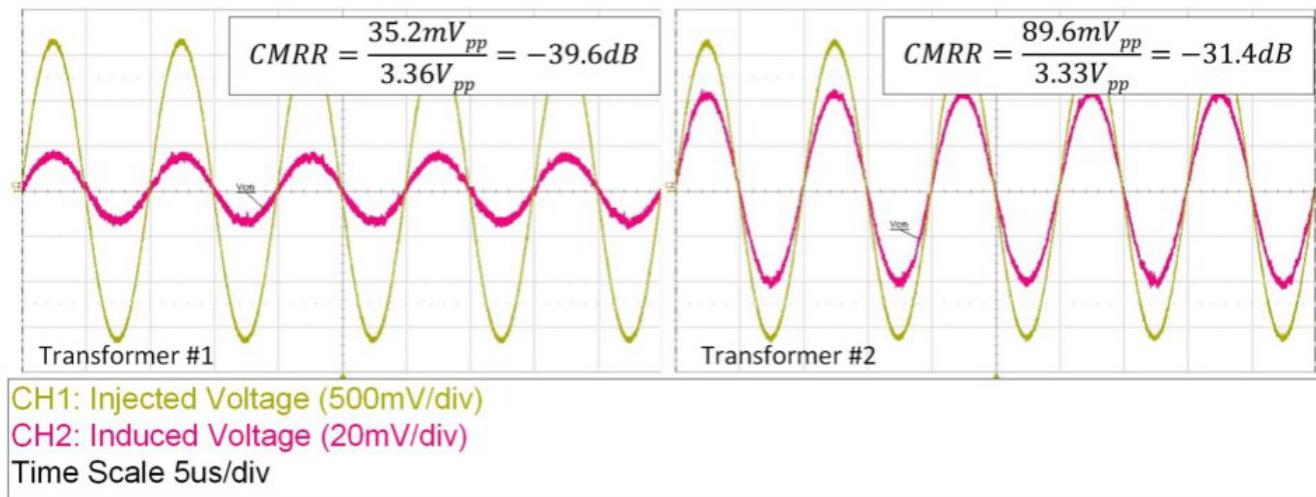


図 3. 時間ドメイントラスの同相信号除去比テストの結果は、100kHz のテスト周波数で、トランス #1 が生成する同相モードノイズがトランス #2 が生成するものよりも少ないことを示しています。出典:テキサス・インスツルメンツ

または、周波数応答アナライザ (FRA) を使用して同じテストを実行し、目的の周波数範囲全体にわたって注入される信号の周波数をスイープできます。100kHz から 30MHz の広い周波数範囲にわたる同じ 2 つのトランスの FRA 測定値を、図 4 に示します。100kHz から 4MHz 付近までの広い範囲にわたりゲインが非常に平坦であることに注意してください。100kHz でのゲインは関数発生器のタテストとよく相関しており、この周波数帯域でのトランスの特性評価には 100kHz でのゲインは関数発生器テストで十分であることを示しています。数 MHz を超える周波数では、これらのトランスの同相信号除去比を対象の周波数で測定する必要があります。

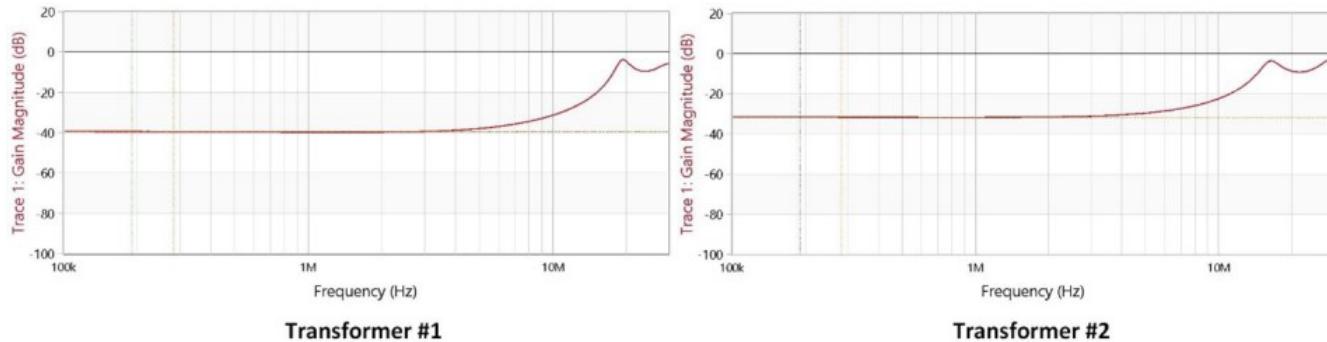


図 4. FRA を使用した 100kHz ~ 4MHz の広い周波数範囲にわたるトランス #1 と #2 の周波数ドメイントラスの同相信号除去比のテスト結果。出典:テキサス・インスツルメンツ

図 5 は、これら両方のトランスをスイッチングパワーコンバータの PCB に半田付けして、国際無線障害特別委員会 (CISPR) 32 クラス B 制限に対する伝導 EMI を測定した結果を示しています。上限線は準ピーク測定に対応しており、下限線は平均測定値に対応しています。予想どおり、トランス #2 の EMI の結果は、トランス #1 より悪化しています。事実、トランス #1 は適切なマージンを使用すれば合格し、トランス #2 にはほとんど障害が発生しません。

## Quasi-peak Scan Average Scan

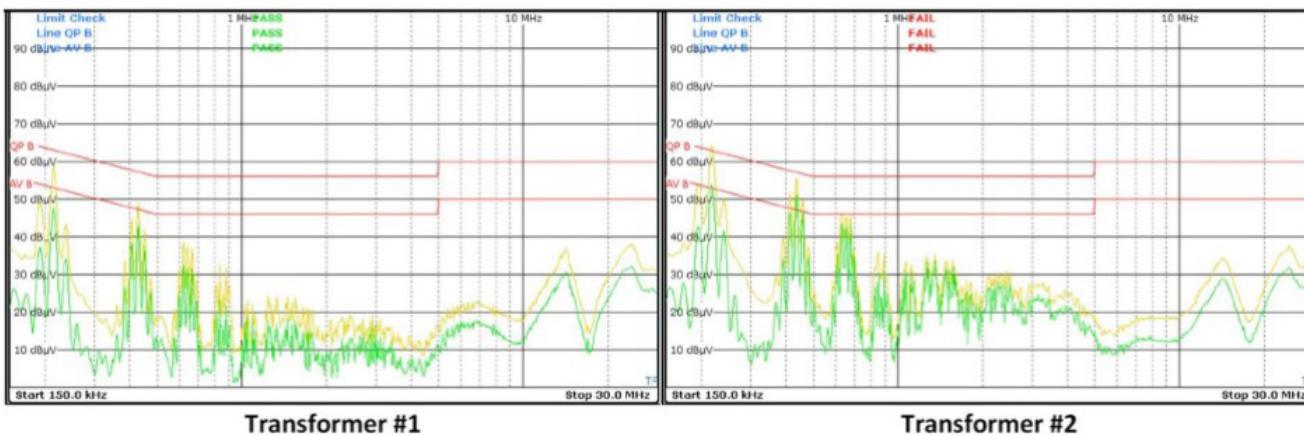


図 5. トランス #1 にマージンがあり、トランス #2 にほとんど障害が発生しないトランスの伝導 EMI テストの結果。出典：テキサス・インスツルメンツ

興味深いことに、この例のトランスの巻線構造はどちらも同じです。同相信号除去比の違いは製造プロセスのばらつきに起因したものであり、EMI がトランス構造にどれほど敏感であるかを示しています。トランス内のワイヤのより線の正確な配置や絶縁層の厚さなどの小さな変化が、大きな影響を与える場合があります。

トランス構造の例では、製造中のすべてのユニットが CISPR 32 の伝導 EMI 制限に合格すると確信できないことは明らかです。1 つの解決策は、回路内の EMI フィルタリングを大きくしてマージンを増やすことです。別の選択肢は、関数発生器を使用して、製造時にすべてのトランスサンプルをスクリーニングすることです。このテストは、巻線間のトランスの巻線比のテストおよびスクリーニングで一般的に使用される種類のテストと非常に似ているため、特別な機器は不要です。この例では、同相信号除去比が  $-38\text{dB}$  未満のトランスのみを合格させると、パワーコンバータシステムを組み立てたときに、すべてのユニットが EMI に合格する可能性が高くなります。

## トランスが EMI に及ぼす影響

**EMI** 問題のデバッグには、多くの障害や困難が伴います。この Power Tip で説明する簡単な測定技法を使用すると、半田ベンチやラボでの時間およびフラストレーションを大幅に低減できます。次の絶縁型電源設計では、パワートランジスタ回路基板に半田付けする前に、数分でパワートランジスタの同相信号除去比を測定し、その同相信号除去比を結果の **EMI** と比較します。トランジスタが **EMI** に与える影響と、システムで **EMI** に合格するトランジスタの同相信号除去比レベルについて、より的確に理解できます。

関連コンテンツ

- Power Tips #118: 交互に配置されたグランド 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
  - EMI 電磁波テスト: ピーク、準ピーク、平均の測定値
  - ポットコアは完璧ではない

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默示保証、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、明示的または默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](http://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默示保証、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、明示的または默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、(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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月