

Application Note

ISOW6441 の使用により、CISPR 32 Class-B 放射型電磁波に簡単に合格



Varun Kumar, Himalaya Pramanick

1 はじめに - DC/DC コンバータ内蔵デジタルアイソレータ

産業用オートメーション、モータードライブ、通信インターフェイスなどの最新の絶縁型システムは、異なる電力ドメインで動作する複数のサブシステムで構成されています。これらのドメインすべてを機能させるためには、信号通信のために信号絶縁が必要であり、2 次側部品に電力を供給するために絶縁型電源が必要です。

ディスクリートの絶縁型電力設計はコスト効率に優れていますが、複雑になることがあります。多くの PCB スペースを占有するさまざまな外付け部品が必要であり、特に外付けトランスは X および Y 寸法だけでなく Z 寸法 (高さ) も占有します。設計を成功させるためには、エンジニアは絶縁トランス、ドライブ回路、整流段、フィードバック ネットワークなど、複数のディスクリートコンポーネントを調べる必要があります。

テキサス インストルメンツの ISOW 製品ファミリーは、絶縁型 DC/DC 変換とデジタル絶縁とを組み合わせたシングル パッケージソリューションに統合することにより、これらの課題に対処します。

ISOW6441 はデジタル アイソレータで構成される ISOW ポートフォリオの最新世代の製品であり、[図 1-1](#) に示すように、1 つの SOP パッケージに電源トランスを含む絶縁型 DC/DC コンバータを統合しています。内蔵の DC/DC コンバータは、デバイスの 2 次側 (絶縁側) 用に絶縁電源を生成します。絶縁型 DC/DC コンバータと電源トランスを 1 つのパッケージに統合しているため、このデバイスは非常にコンパクトな設計になっています。また、ディスクリート設計と比較して、電源全体の設計に伴う複雑さも大幅に緩和されます。このようなデバイスは、PLC、通信モジュール、産業用輸送機器、医療機器、エネルギー メーターなど、多くの産業用アプリケーションで広く使用されています。

ISOW6441 の DC/DC コンバータは、約 60MHz でスイッチングすることで電源トランスのサイズを削減しており、小型の SOP パッケージに統合することができます。このスイッチング周波数では、スイッチング コンバータのスペクトル成分が、CISPR 32 などの一部の電磁干渉 (EMI) 規格による規制の対象となる可能性があります。

統合型 DC/DC コンバータソリューション デバイスの大部分が、システムレベルの大量の修正を行ってもなお、国際および OEM の放射規格の厳格な要件を満たすことに本質的な課題を有している市場では、ISOW6441 は、単純な SMD 部品を使用して最小限の 2 層 PCB で同じ放射要件を満たすことができ、複雑なレイアウトの制約がないことから、最有力デバイスであり、最もコスト効率の優れたソリューションとなります。この資料では、シンプルでコスト効率に優れた 2 層 PCB 上の ISOW6441 が、厳格な CISPR32 Class-B 制限を十分に満たすことを詳細に説明します。

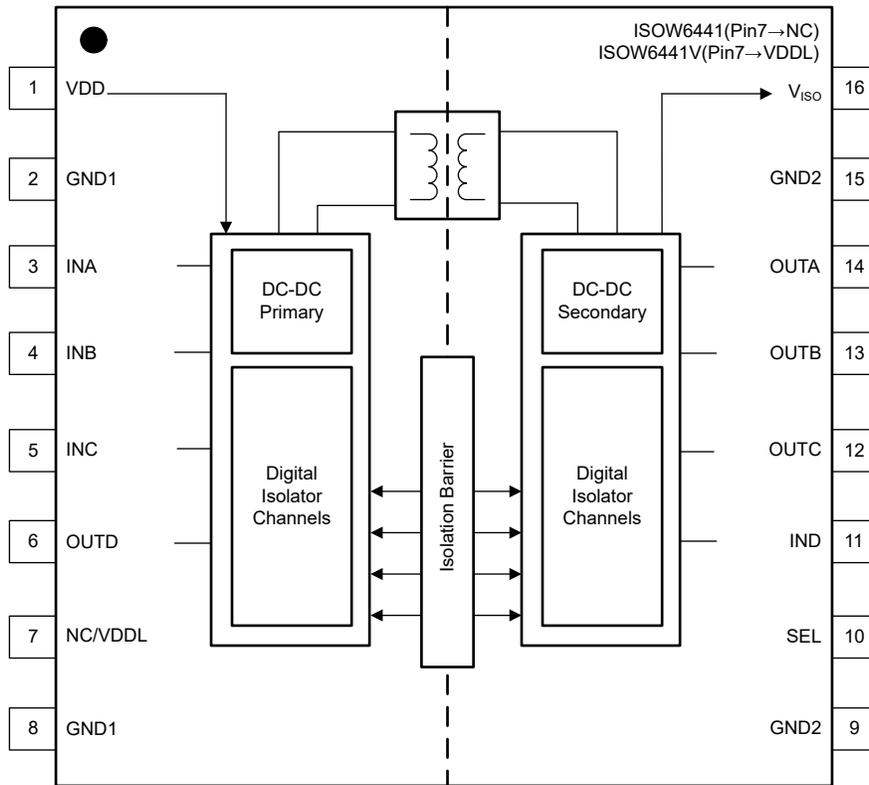


図 1-1. ISOW6441 の内部ブロック図

2 CISPR 32 放射型電磁波規格の概要

CISPR 32 は、マルチメディア機器 (MME) に対する国際的な無線妨害規格です。この規格は、無線スペクトラムに対して十分な保護レベルを確保するための要求事項を定めるとともに、測定の実現性および結果の繰り返し性を維持するための手順を規定しています。ほとんどの産業用最終製品の認証機関は、最終製品が関連する最終製品規格の認定を受けるための要件の 1 つとして、最終製品が CISPR 32 に準拠することを要求しています。したがって、製品設計者は製品を設計する際に、これらの EMC 要件を考慮する必要があります。

この規格では、2 種類のエンド ユーザー環境に関連する 2 つの機器クラスが定義されています。

- Class B の要件は、住宅環境において放送サービスを保護することを目的としています。主に住宅環境で使用することを意図した機器は、Class B の制限に適合する必要があります。Class B の制限は、以下に説明する Class A よりも厳格です
- Class A の要件は、Class B 以外の機器すべてに適用され、Class A の機器は緩和された Class A の制限に準拠する必要があります。

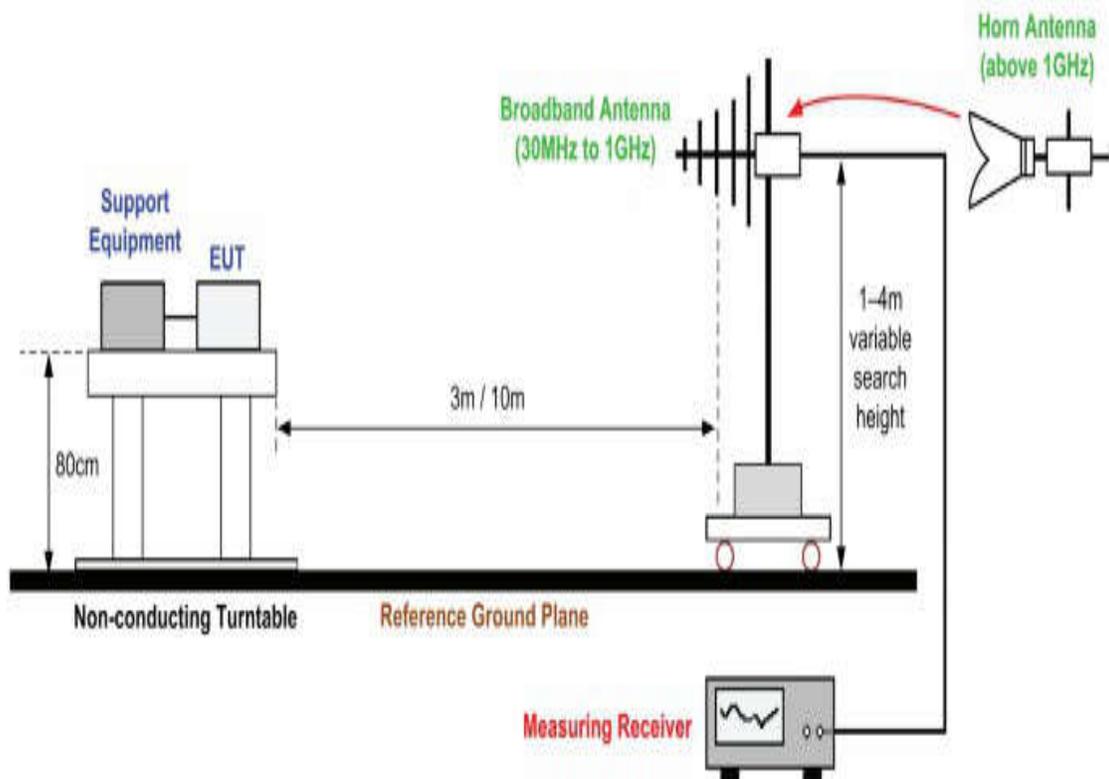


図 2-1. CISPR32 のテスト構成

CISPR32 は、図 2-1 に示すように、無響室の非導電性回転台に配置されたテスト対象機器 (EUT) を規定しています。EUT は、30MHz ~ 1GHz および 1GHz ~ 6GHz の範囲で、それぞれ受信アンテナから 10m および 3m 離れた場所に配置されます。アンテナは水平偏波と垂直偏波の両方に構成されており、30MHz ~ 1GHz のスキャンでは 1m ~ 4m、1GHz ~ 6GHz のスキャンでは 1m ~ 2m の高さに調整できます。アンテナの高さと偏波ごとに、回転台上の EUT を 0~360 度回転させ、最大電界強度の測定値を求めます。さまざまな偏波および高さにおけるワーストケースのエミッション測定値が、30MHz ~ 1GHz および 1GHz ~ 6GHz の範囲で記録されます。

3 放射型電磁波のソースの理解

電磁放射は、図 3-1 に示すように、特定の PCB 上のスイッチング アイソレータから、同相電流ループまたは差動モード電流ループとして放射されることがあります。DC/DC コンバータの高速過渡が、PCB 上の絶縁グランド間の寄生容量を介して結合され、絶縁システムの 1 次側と 2 次側の間にコモンモード電流が発生します。1 次側と 2 次側は完全に絶縁されているため、電流は空気および基板レベルの寄生容量を介して大きなリターンループを形成します。この大きな電流ループは、絶縁型システムで放射型電磁波を発生させる主要因です。このエミッションメカニズムを理解するもう 1 つの見方は、基板の 2 つの絶縁部品がダイポールアンテナトランスミッタを形成するということです。差動モード電流ループは、入力電源 (VDD) および絶縁型出力電源 (VISO) の両方に高電圧リップルがあることによって形成される場合があります。

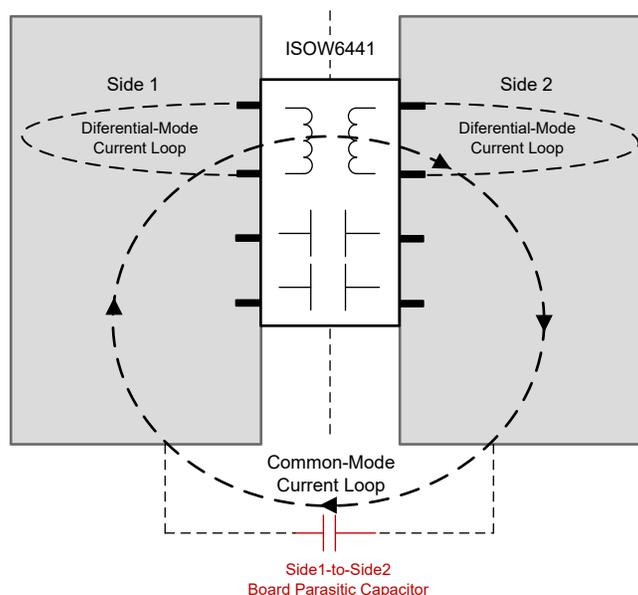


図 3-1. PCB 上でのコモンモードとディファレンシャルモードの電流ループ形成

4 ISOW6441 による放射型電磁波の低減

ISOW6441 は、外付け部品を最小限に抑えたシンプルなレイアウトのコスト効率に優れた 2 層基板を使用し、10dB を超えるマージンを確保して CISPR32 Class B 規格を満たすように特別に設計されています。テキサス インストルメンツは、ISOW6441 の設計およびレイアウトに特許申請中の対称型設計アーキテクチャを使用して低エミッションを実現しており、このアーキテクチャが、市場で最高のコスト対性能比を達成するのに役立っています。

ISOW6441 デバイスは、高周波数スイッチングを使用してトランス コイルの低インダクタンスを補償します。また、パワー コンバータのデューティ サイクルを制御することにより、レギュレーションを維持しながら必要な出力 DC 負荷を供給します。コンバータがオンのときは常に、入力電源 V_{DD} から大電流が流れます。この電流には、低周波数成分 (閉ループ レギュレーション帯域幅におおよそ比例) と、DC/DC コンバータのスイッチング周波数 (60MHz) とその高調波での高周波数成分があります。

ISOW6441 で最高のエミッション性能を実現するには、[図 4-1](#) に示すように、設計した PCB 上で以下の対策を講じて電源ノイズを効率的に減衰させる必要があります。

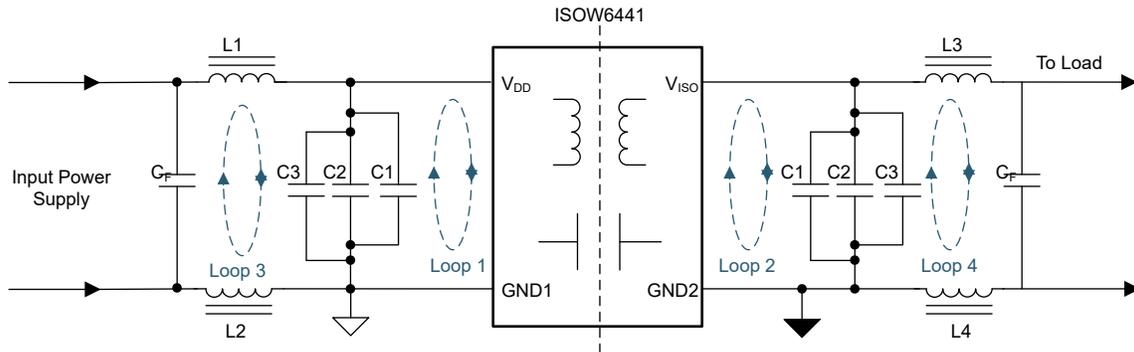


図 4-1. 電源デカップリング コンデンサおよびフェライト ビーズ

1. 電源デカップリング コンデンサ - ISOW6441 の必須部品

デカップリング コンデンサは、差動ノイズをフィルタリングし、電圧リップルを最小限に抑える重要な役割を果たします。これらのコンデンサは、ISOW6441 の DC/DC コンバータ内のさまざまな機能ブロックに必要な瞬間的なピーク電流も供給します。ISOW6441 は、多くの高周波数成分をフィルタして除去し、入力電源の配線や出力負荷に伝搬しないようにするために、異なるコンデンサ ($C1 = 0.1\mu\text{F}$ 、 $C2 = 1\mu\text{F}$ 、 $C3 = 10\mu\text{F}$) からなる入出力コンデンサ バンクを必要とします。ループ 1 およびループ 2 の面積を制限するため、これらのコンデンサをピンのできるだけ近くに配置することが重要です。 $0.1\mu\text{F}$ コンデンサ ($C1$) は、DC/DC コンバータの電源ピン ($V_{DD}/GND1$ および $V_{ISO}/GND2$) から 2mm 以内の距離に配置する必要があります。10MHz ~ 100MHz の周波数では、等価直列抵抗 (ESR) が最小のコンデンサを使用してください。ISOW6441 では、 $0.01\mu\text{F}$ のキャパシタの後段に $10\mu\text{F}$ 以上のバルクキャパシタを配置する必要もあります。 $10\mu\text{F}$ の直前に $1\mu\text{F}$ コンデンサをオプションで使用すると、ノイズフィルタリングを向上できます。

重要:これらのコンデンサはすべて ISOW6441 デバイスと同じ PCB 層に配置してください。[図 4-2](#) に、推奨されるデカップリング コンデンサの ISOW6441DWEEVM 上の配置を示した PCB レイアウトの例を示します。

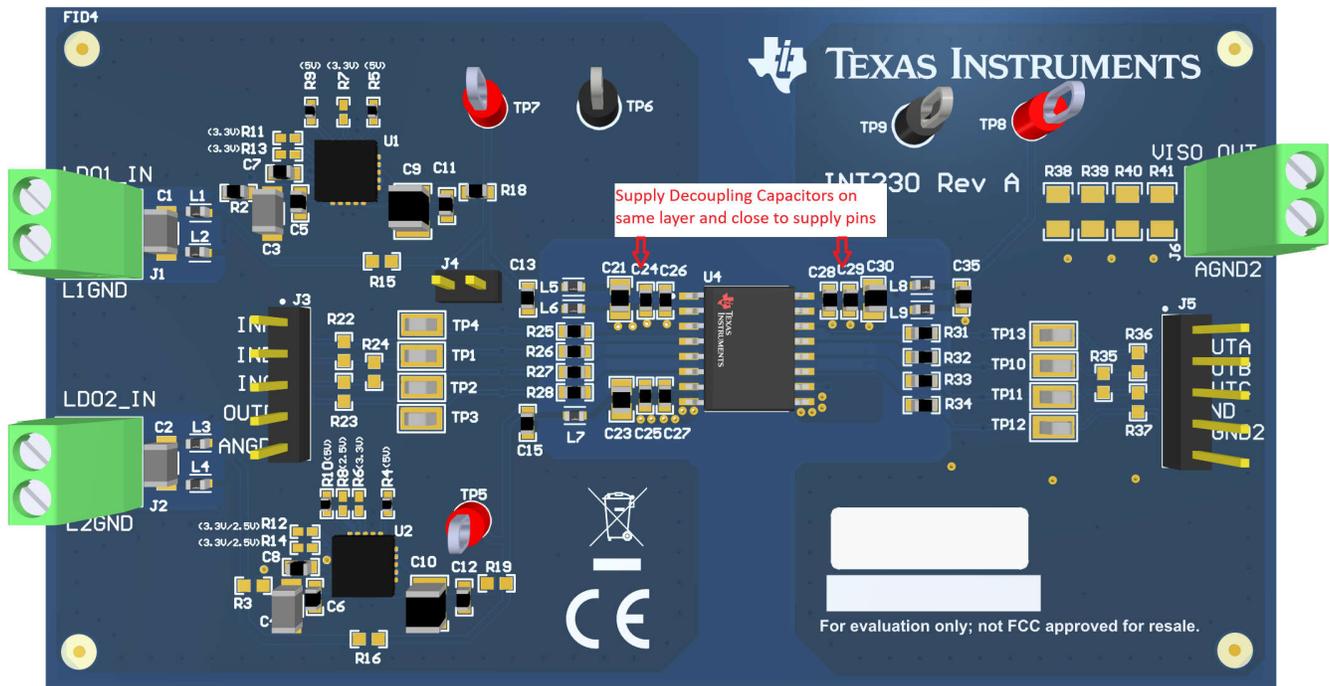


図 4-2. ISOW6441DWEVM 上の ISOW6441 のデカップリング コンデンサの配置例

2. フェライトビーズによるさらなる改善

電源デカップリング コンデンサは、デバイスに近いループ 1 とループ 2 の電流を低減する役割を担いますが、フェライトビーズ (FB) をコンデンサ (C_F) とともに使用することにより、VDD-GND1 および VISO-GND2 の電源配線の高周波ノイズを閉じ込め、ループ 3 とループ 4 の電流を減らすことにより、より大きい PCB 面積にさらに拡散しないようにできます。図 4-1 に示すように、VDD-GND1 では L1-L2 の FB、VISO-GND2 では L3-L4 の FB が大きな減衰を実現して周波数を選択し、それによってスイッチング ノイズが PCB 内のより大きな配線に拡散するのを防止します。これらの FB は、スイッチング周波数および高調波周波数で最も高いインピーダンス (> 1kΩ) を実現するように選択します (BLM18HE152SH1D など)。

FB を使用して効果的な結果を得るためには、最小キープアウトゾーン (KOZ) を維持する必要があります。FB の前後にあるすべての電源プレーンとグランドプレーンは PCB 層全体で分離したままにします。FB の前後にあるプレーンのこの分離空間が、FB の長さより大きいことを確認します。これにより、代替電流ループが形成されないままになります。代替電流ループは、プレーン間の容量性結合により形成されて FB をバイパスするためです。

ISOW6441 の最良のエミッション性能を満たすために説明した PCB を設計する上でのすべての対策については、[ISOW6441DWEVM](#) を参照してください。

5 放射エミッション テストのガイドライン

放射の主な理由は、基板上にアンテナが形成されることです。システムの電源投入に使用する長いケーブルや、パラメータの測定に使用するプローブが、アンテナのように機能し、エミッションの読み取り値が高くなることがあります。エミッションに使用するセットアップが最終的なシステムの動作条件を忠実に再現していることを確認してください。そのため、システムに接続されているケーブルをできる限り短くするか、実際のシステム使用条件に応じたものにします。最終的なシステムで使用する予定の保護接地 (PE) に基板または金属シールドを直接接続または容量性接続する場合は、それらを EMI テスト中にも使用する必要があります。

DUT から離れた場所に配置された電源から長いワイヤで接続されている場合は、DUT の近くに同相チョーク (CMC) を配置し、長いワイヤによってエミッションが不必要に悪化しないようにすることを推奨します。CMC の代わりにケーブルにフェライト コア クランプ フィルタを使用して、エミッション測定への影響を最小限に抑えます。これらのフィルタを使用すると、実際のセットアップのエミッションが測定され、長いケーブルの影響は無効になります。負荷抵抗など基板に必要な追加部品は、長いワイヤを使用して基板に接続するのではなく、基板に直接半田付けします。

このような長い配線を回避するもう 1 つの方法は、テスト対象機器 (EUT) が DC 電源で動作している場合に、バッテリーから短いワイヤを使用して EUT に電源を供給することです。図 5-1 に、ISOW6441DWEEVM の評価基板に 9V のアルカリバッテリーを短いワイヤで接続して電源を供給しているところを示します。

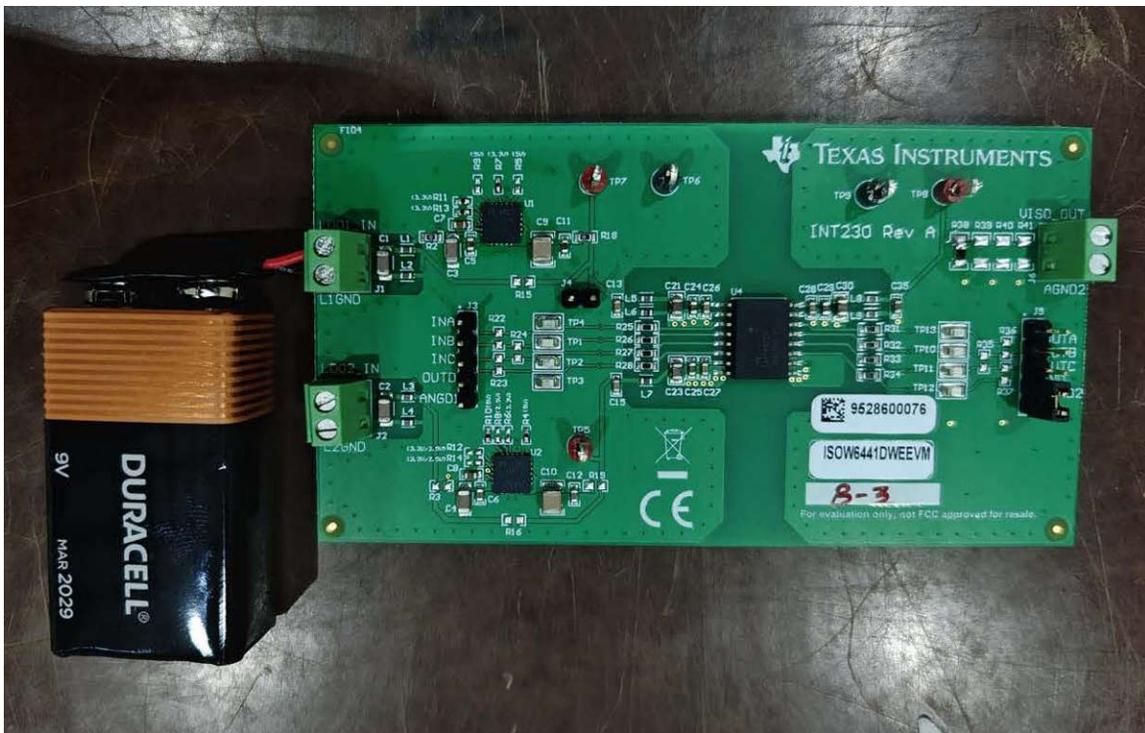


図 5-1. バッテリーを使用した ISOW6441DWEEVM のエミッション テスト構成

CISPR 32 規格によると、放射エミッションの制限は疑似ピーク制限として規定されていますが、迅速に結果を得るため、ピーク検出器の測定値を使用するのが一般的です。ISOW6441 デバイスでは、すべての電力を単一の周波数に集中させる代わりに、スペクトラム拡散クロック処理を使用して小帯域の周波数でスイッチング周波数を変化させます。このような手法を使用すると、疑似ピーク スキャンを実行したときに、非常に良好な結果が得られます。

最初にピーク検出器の測定値を取得し、ワーストケースの測定の周波数を確認します。この後、選択したワーストケース周波数で疑似ピーク測定値を行い、CISPR 32 疑似ピーク制限ラインから真のマージンを推定します。

6 放射エミッション テスト結果

表 6-1 に、図 5-1 に示すすべての VDD および VISO 電圧構成におけるテスト設定と、各構成における最大 ILOAD での ISOW6441DWEEVM の CISPR 32 テスト結果を示します。これは、ISOW6441 の放射型電磁波が Class B の制限ラインから 10dB 以上のマージンを有しており、ピーク エミッション測定でも CISPR 32 Class B の制限を十分に満たしていることを示しています。

表 6-1. CISPR32 Class-B 放射型電磁波テスト用のデバイス構成および結果

	V _{DD} (V)	V _{ISO} (V)	V _{ISO} 負荷 (mA)	周波数範囲	エミッション スペクトルの結果
テスト 1	5	5	110	30MHz-1 GHz	図 6-1
テスト 2	5	5	110	1 GHz ~ 6 GHz	図 6-2
テスト 3	5	3.3	140	30MHz-1 GHz	図 6-3
テスト 4	5	3.3	140	1 GHz ~ 6 GHz	図 6-4
テスト 5	3.3	3.3	60	30MHz-1 GHz	図 6-5
テスト 6	3.3	3.3	60	1 GHz ~ 6 GHz	図 6-6

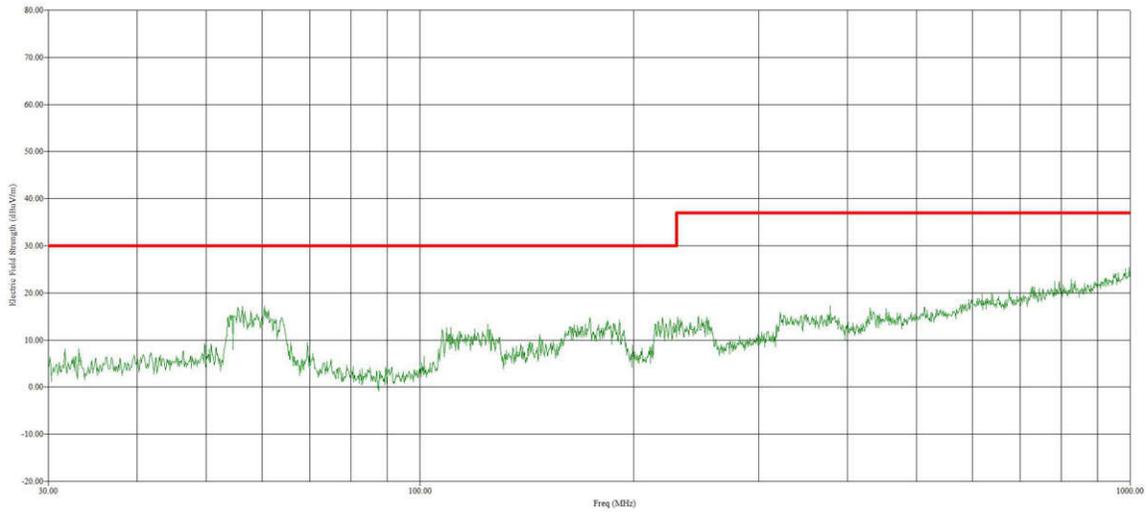


図 6-1. 5V 入力、5V 出力、110mA 負荷 (30MHz ~ 1GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

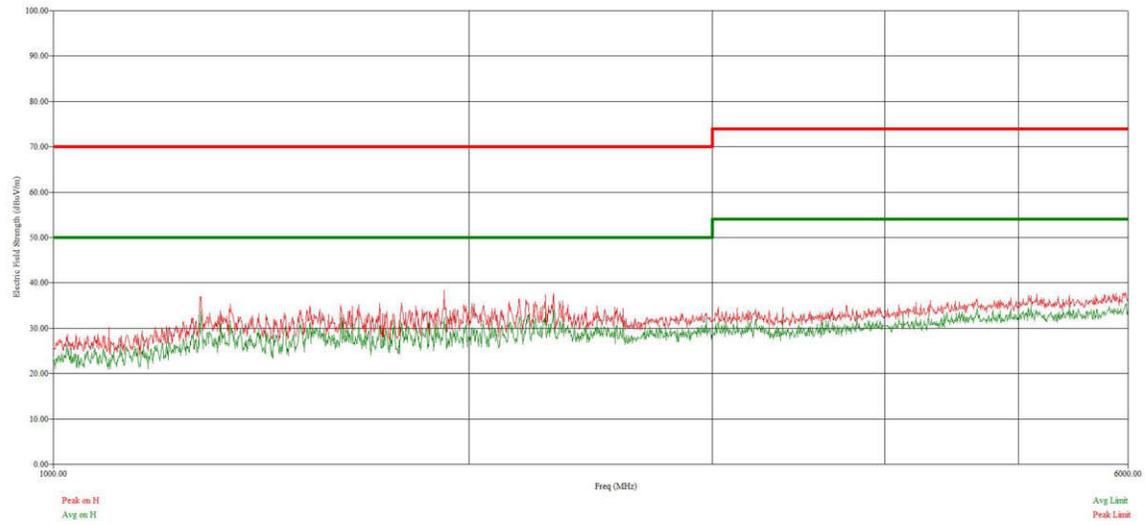


図 6-2. 5V 入力、5V 出力、110mA 負荷 (1GHz ~ 6GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

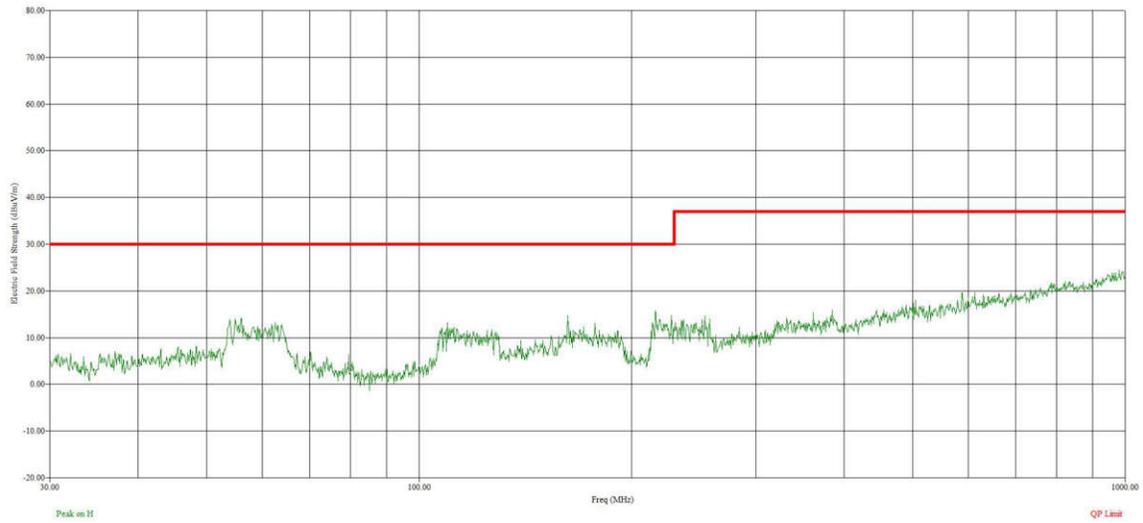


図 6-3. 5V 入力、3.3V 出力、140mA 負荷 (30MHz ~ 1GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

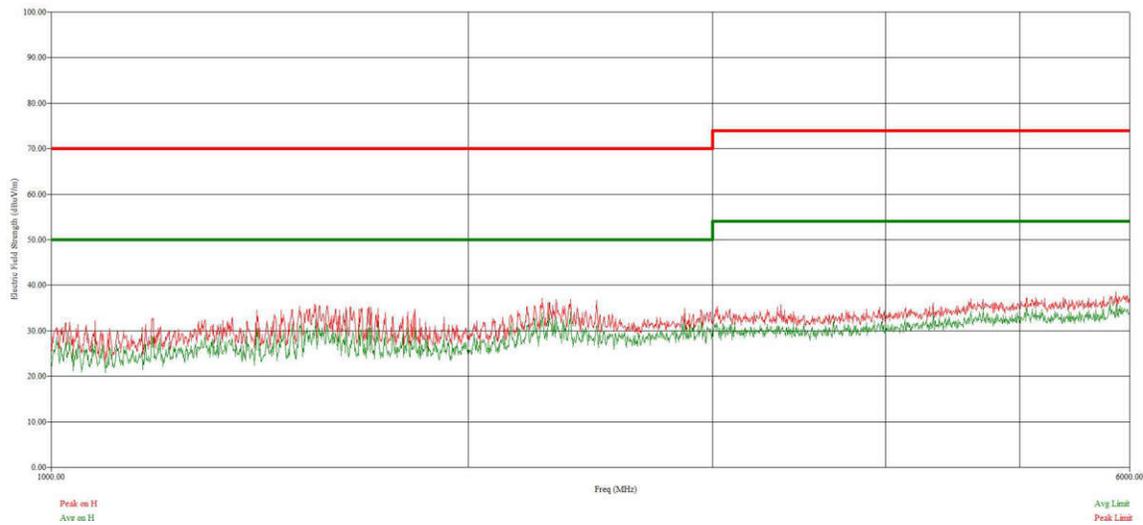


図 6-4. 5V 入力、3.3V 出力、140mA 負荷 (1GHz ~ 6GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

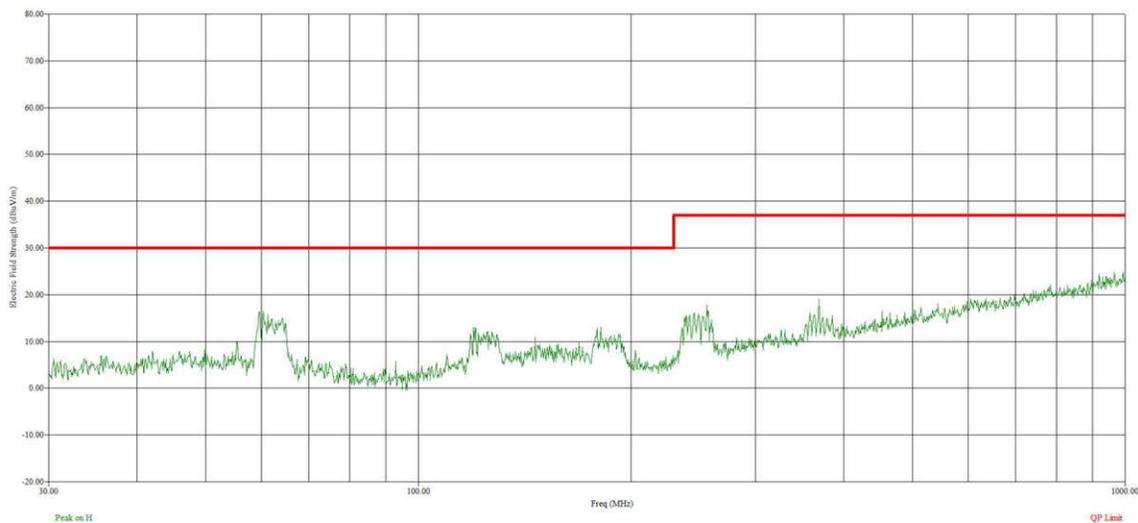


図 6-5. 3.3V 入力、3.3V 出力、60mA 負荷 (30MHz ~ 1GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

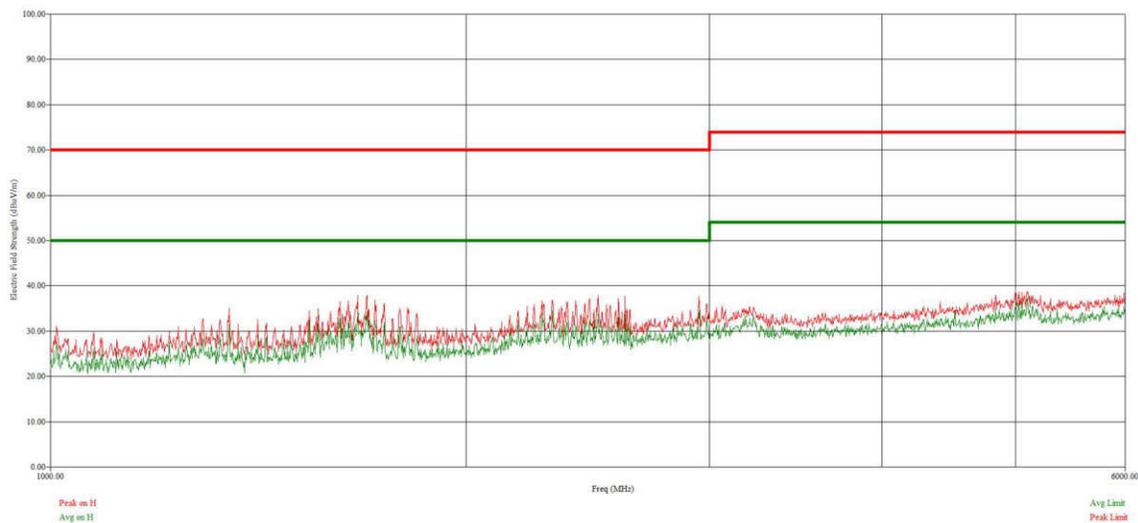


図 6-6. 3.3V 入力、3.3V 出力、60mA 負荷 (1GHz ~ 6GHz) での CISPR32 Class-B の放射型電磁波結果

7 まとめ

DC/DC コンバータを内蔵したデジタル アイソレータに対するテキサス インストルメンツの最新世代のソリューションである ISOW6441 は、コンバータのスイッチング周波数が 60MHz の範囲であり、トランスのサイズを小さいままにできます。この高周波スイッチングにより、内蔵デバイスの放射エミッションが CISPR 32 周波数スペクトルの帯域内に発生する可能性があります。PCB が大きく、ケーブルが長いと、DC/DC コンバータ内蔵の絶縁型電源ソリューション全体の放射が悪化します。ISOW6441 は、特許申請中の対称型設計アーキテクチャおよびスペクトラム拡散クロック処理により、放射型電磁波性能を最適化しています。エミッションをさらに改善するには、推奨されるデカップリング コンデンサおよびフェライトビーズの配置ガイドラインに従い、入出力電圧構成の全負荷能力で 10dB を上回るマージンを確保して CISPR32 Class B の制限に適合します。これらの推奨事項により、大型 PCB と長いケーブルの放射エミッション結果への影響が低減され、最終製品が CISPR 32 規格のエミッション制限に準拠できるようになります。

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