

Technical Article

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



Josh Mandelcorn

従来、車載用電子機器は、自動車の始動に使われるものと同じ 12V 鉛酸バッテリーから電力を得てきました。ジェネレータが作動しており、かつバッテリーケーブルが切り離された際に発生する可能性がある最大 42V のサージによっても、電圧は安全特別低電圧 (SELV) の範囲 (60V_{DC} 未満) に維持されます。そのため、車載回路での感電の危険をなくするためにプリント基板 (PCB) の配線間隔を気にする必要はありません。

電気自動車 (EV) のモーターは、より高い動作電圧 (400V または 800V) を必要とするため、今度は感電の危険が車載アプリケーションにおける懸案事項となっています。AC 商用電源に接続された回路と、商用電源から電力を得た SELV 回路との境界に適用されるものと同じ厳しい間隔規定が、今度は EV の高電圧バッテリーに接続された回路と、12V システム (インフォテインメント、ボディ エレクトロニクス (主に照明) など) から電力を得て動作する SELV 回路の境界にも適用されるようになりました。

CISPR 25 の未達成

高電圧 EV バッテリーで動作するトラクション インバータ内の大電力半導体スイッチを駆動するために必要とされるバイアス電源の多くは、低電圧 12V システムから電力を得ています。問題は、これらの絶縁型電源が多くの同相ノイズを自動車の 12V バッテリーラインに注入した結果、108MHz にまで及ぶ車載 CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques: 国際無線障害特別委員) 25 伝導エミッションの限度値を満たせなくなることです。このノイズは主に、バイアス電源の絶縁トランスの 1 次側巻線と 2 次側巻線との間でメイン スイッチング波形が静電容量結合することで生成されます。1 次側グランドと 2 次側グランドとの間に接続された、高いサージ電圧定格を持つバイパス コンデンサ (Y コンデンサ) は小さなループを形成し、この同相ノイズをほぼ閉じ込めます。そして、バッテリーラインでの同相フィルタ処理がこのノイズをさらに低減し、CISPR 25 の限度値に合格できるようにします。

車載回路の間隔要件

高電圧 EV バッテリーと、ほとんどの従来型車載回路で使用されている低電圧 12V バッテリー システムとの間の強化された間隔規定として、一般的な目標値は 8mm 間隔です。これは、「400V_{RMS}、汚染度 2、材料グループ III」または「800V_{RMS}、汚染度 2、材料グループ I」に対応します。間隔要件の詳細については、国際電気標準会議 (IEC) 60664-1 規格『低電圧システム内の機器の絶縁協調 — 第 1 部: 原則、要求事項および試験』を参照してください。

多層 PCB の沿面距離と空間距離の要件に適合

IEC の厳格な間隔要件は、汚染された空気さらさらされた表面での高電圧絶縁破壊 (沿面距離) と、空気自体の絶縁破壊またはアーク放電 (空間距離) によって決定されています。トランスや集積回路 (IC) など、1 次側と 2 次側の間のバリアを橋渡しする部品の中と、同様に、空気にも湿気にもさらされない多層 PCB の内層の中では、数キロボルトの高電位テストにバリアが耐えることができる限り、間隔の要件は大幅に緩和されます。強化絶縁バリア アプリケーションで使用される IC の一般的なテスト レベルは 5kV であり、これに合格すれば、4 層以上の PCB において、1 次側グランドと 2 次側グランドを内層に交互に配置できます。内層にも間隔の要件がありますが、それらの値は空気に露出した層の要件よりも大幅に小さい値です。一部の用途では、800V バッテリー システムでも 1mm の間隔で十分です。

絶縁型 DC/DC コンバータを使ったデモ

テキサス・インスツルメンツは、UCC12051-Q1 絶縁型 DC/DC コンバータ のエミッション性能と CISPR 25 Class 5 の限度値との関係を実証するため、2 種類のボードを作成しました。このコンバータは、標準的なバッテリーラインの電磁干渉フィルタを使い、5V 入力、5V 出力、100mA 負荷で動作するように設計されています。1 つのボード (未発売) は、4 層すべてで 1 次側と 2 次側との間に 8mm の間隔を確保しています。また、もう 1 つのボード (『[車載用 CISPR 25 クラス 5 エミッションのための絶縁型 5V バイアス電源のリファレンス デザイン](#)』) は、1 次側グラウンドと 2 次側グラウンドとの間隔を 1mm とし、2 つの内層で 1 次側グラウンドと 2 次側グラウンドを交互に配置しました。1 次側グラウンドと 2 次側グラウンドとの間の追加の実効容量の推定値は 11pF でした。CISPR 25 で懸念される最初の周波数とその 4 次高調波 (32MHz) になるように、UCC12051-Q1 の内蔵絶縁型コンバータを 8MHz でスイッチングさせました。

図 1 は、絶縁型 5V リファレンス デザインの回路図の抜粋です。この図は、コンバータの絶縁トランスによって生成された高周波ノイズを閉じ込めるためのコンデンサを 1 次側グラウンドと 2 次側グラウンドとの間に接続した IC 絶縁型コンバータを示しています。未発売のボードは、PCB 層の交互配置がないことを除いて、絶縁型 5V リファレンス デザインと同じです。

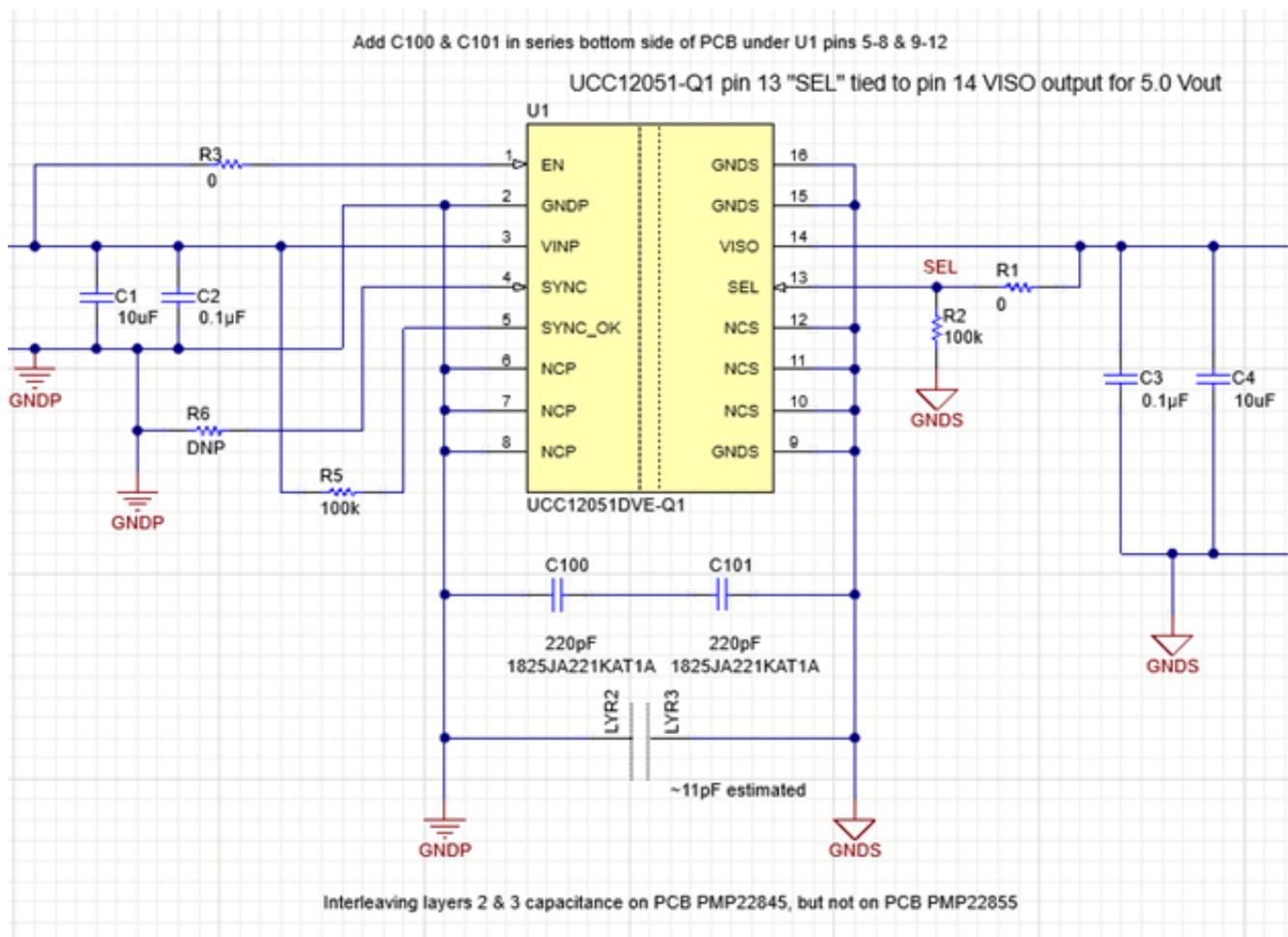


図 1. 絶縁型 5V リファレンス・デザインの DC/DC コンバータの 1 次側および 2 次側インターフェイス。追加のバイパスコンデンサ C100 および C101 と、交互配置による内層容量を記載しています。出典:テキサス・インスツルメンツ

安全のための冗長性の必要性和、1 次側と 2 次側の端から端までの間隔を維持する必要性を考慮して、1 次側と 2 次側のグラウンドをブリッジするため 2 つの Y コンデンサ (C100 および C101) を直列に配置しました。したがって、実効的な容量は各コンデンサの値の半分です。場合によっては、必要な間隔を維持するため、3 つのコンデンサ (330pF のコンデンサ) を直列に接続することも必要です。

図 2 の左側の画像は、すべての層に 8mm の間隔がある未発売のボードです。右側の画像は、最上層と最下層が 8mm 間隔、内層はわずか 1mm 間隔とし、1 次側と 2 次側のグラウンド プレーンを重ね合わせた絶縁型 5V リファレンス デザインです。

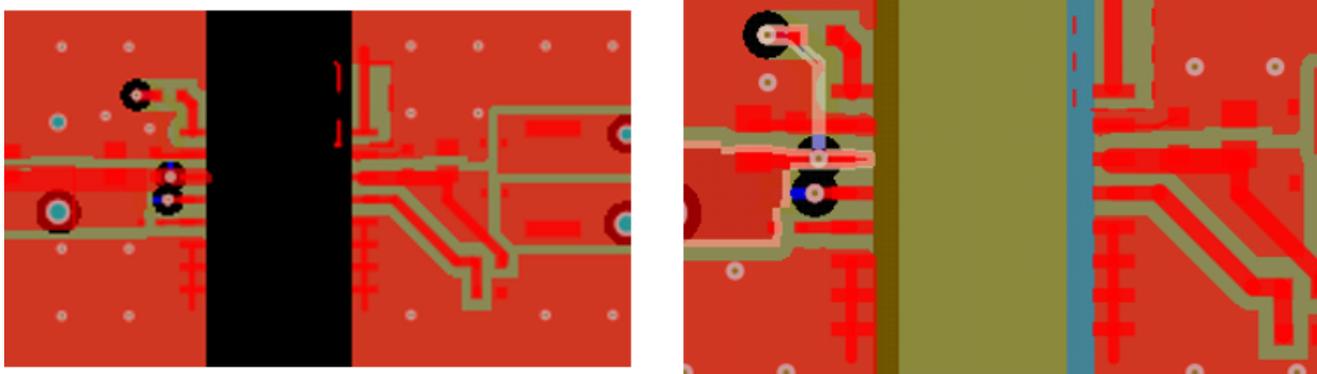


図 2. 「すべての層が 8mm 間隔」(左) と「最上層と最下層のみが 8mm 間隔」(右) との比較: 最上層は赤、第 2 層は濃い緑、第 3 層は水色、第 4 層は黄褐色、第 2 層と第 3 層の重なりは水色、すべての層の銅以外は黒色。出典: テキサス・インスツルメンツ

放射エミッションと CISPR 25 との関係

この絶縁型 5V リファレンス デザインにおいて、この交互配置と、1 次側と 2 次側のグラウンドの間に追加された 11pF の静電容量は、200MHz を上回る放射エミッションに対してのみ有効であると予想していました。実際、層を交互配置した結果、バイパスコンデンサ C100 および C101 を使わなくても、200MHz を上回るすべての周波数で放射エミッションが CISPR 25 Class 5 に合格できました (図 3)。層を交互配置しなかった場合、同じ周波数範囲で合格するのに、1 次側と 2 次側のグラウンドの間に Y コンデンサを追加する必要がありました。エミッション テストの構成については、[テストレポート](#)をご覧ください。

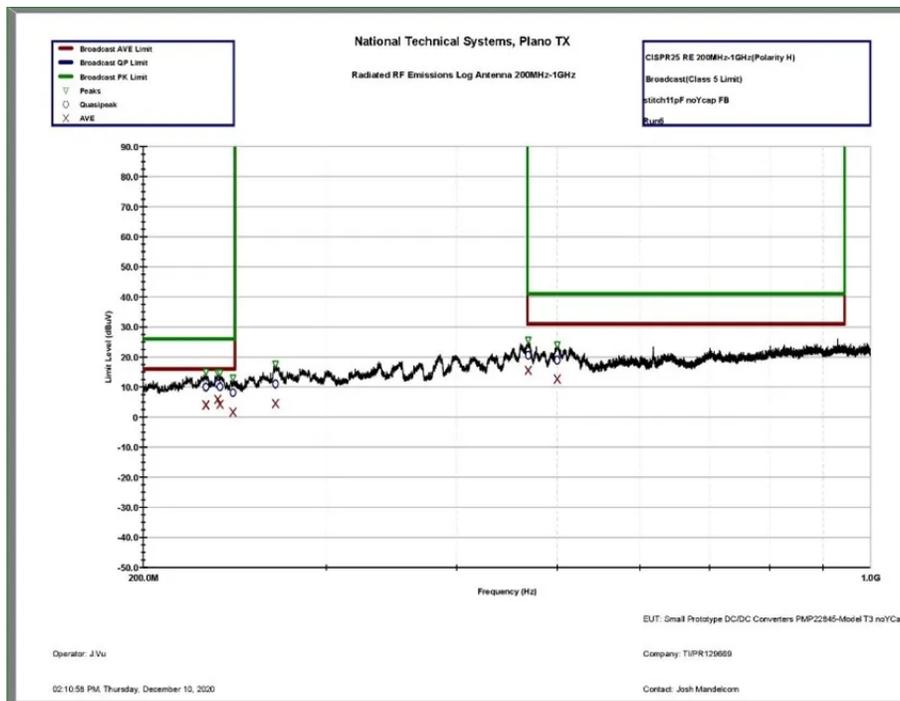


図 3. 放射エミッションと CISPR 25 Class 5 との関係 (200MHz 以上、追加 Y コンデンサなし) この特定のスキアン結果は絶縁型 5V リファレンス デザインのテストレポートには記載されていません。本ボードは、限度値に対して 10dB を上回る余裕を持って合格しました。出典: テキサス・インスツルメンツ

驚いたことに、伝導エミッションの厳しい限度値が課されている 30~108MHz の範囲のフィルタ処理 (C101 および C102) が大幅に改善されました。1 次側グラウンドと 2 次側グラウンドとの間の 110pF の実効的な追加容量と交互配置を組み合わせることで、30~108MHz の範囲全体で伝導ノイズが約 4~8dB 低減されました。交互配置を行うことで、この周波数範囲の全域で、4dB 足りない不合格が 4dB の余裕を持った合格に変換されました。

伝導エミッションと CISPR 25 との関係

図 4 と図 5 に、内層の交互配置のみが異なるこれらの 2 枚のボードの伝導エミッション スキャンを示します。どちらのスキャンでも、同じライン インピーダンス安定化ネットワーク (LISN)、同じ同相バッテリーライン フィルタ処理、同じ 5V 出力の 100mA 負荷を使用しました。



図 4. 絶縁型 5V リファレンス デザイン (交互配置された層を利用) の伝導エミッションと CISPR 25 Class 5 との関係 (30~108MHz、4.5dB の余裕を持って合格、ワースト ケースは 82MHz での「CISPR 平均値」検出)出典:テキサス・インスツルメンツ



図 5. 未発売のボード (交互配置層なし) の伝導エミッションと CISPR 25 Class 5 との関係 (30~108MHz、3.8dB 不足で不合格、ワースト ケースは 32MHz での「CISPR 平均値」検出)出典:テキサス・インスツルメンツ

11pF (推定値) の容量値を持つ交互配置された層は、Y コンデンサの実効的な容量値 (110pF) を 11pF 増やす場合 (フィルタ処理の効果は約 1dB 改善) よりもはるかに大きくフィルタ処理に貢献しました。内層のグランド プレーンのおかげで、ブリッジ Y コンデンサの実効インダクタンスが減少し、これらの Y コンデンサは高い周波数の高調波をより効果的にシヤントできるようになります。

このフィルタ処理性能の改善は、その目的が出力ノイズの制限、非絶縁型アプリケーションでのエミッションの制御、半導体のストレスと故障の低減のいずれであろうと、近接したグランド プレーンの利点に加えて、コンデンサのフィルタ処理性能を向上させます。

関連コンテンツ

- [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](#)
- [EV 設計での EMI の拡散防止](#)
- [新しい EMI 脅威とは](#)

参考情報

- 結果を二倍にする強化絶縁を得るには、[PCB 沿面距離カリキュレータ](#)を使用してください。
- 詳細は、テキサス・インスツルメンツ:
 - [『車載アプリケーションの厳しい絶縁沿面距離 & 空間距離の要求を満たす方法』](#)をご確認ください。
 - [『Power Tips: グランド プレーン – スイッチング レギュレータのノイズ制御における重要な要素』](#)
 - [『車載分野の電磁波要件に準拠するための電力変換手法』](#)
 - [『誘導性寄生素子の最小化による降圧コンバータの EMI と電圧ストレスの低減』](#)

関連規格

- [IEC 60664-1](#)、『低電圧供給システム内の機器の絶縁協調 – 第 1 部:原則、要件、および試験』
- [IEC 61800-5-1](#)、『可変速駆動システム (PDS) – 第 5-1 部:安全要求事項 – 電氣的、熱的およびエネルギー』
- [IPC \(Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits: 米国電子回路協会\) 2221B](#)、『プリント基板設計に関する共通基準』
- [CISPR 25 Ed. 5.0 b 2021](#)、『車両、小型船舶、内燃機関 - 無線妨害特性 - 車載受信機保護のための限度値と測定方法』

以前 [EDN.com](#) で公開された記事です。

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 © 2024, 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、

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated