

Application Brief

CISPR25 伝導型電磁波テストの 電流プローブ方式と電圧方式を理解する



Madison Eaker, Delaney Berger

Systems Engineering and Marketing

ラジオで音楽を聴いている時に渋滞に巻き込まれ、妨害が入ってお気に入りの部分が台無しになったり、重要なニュース放送が中断されたりすることを想像してみてください。幸い、自動車は *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques: 国際無線障害特別委員会 (CISPR25)* の規格を満たすように設計されているので、このような中断を回避できます。

CISPR25 は、150kHz ~ 2.5GHz の周波数範囲における無線妨害の測定に関する制限と手順を定義しています。この規格で定義されている周波数範囲は、伝導型電磁波と放射型電磁波の両方をカバーしています。この記事では、伝導型電磁波にのみ注目しています。CISPR25 は、伝導型電磁波テストに関する 2 つの方法を定義しています。電流プローブ方式と電圧手法です。どちらの方法も、テスト対象デバイス (DUT) が電磁波テストの制限に合格したか、不合格になったかを判定するために使用できます。顧客は一般に、電流プローブ方式または電圧方式のいずれかを必要としています。どの方法を選択するかは、OEM (Original Equipment Manufacturer) の要件に基づいて決定します。

この記事を作成きっかけは、CISPR25 に従ってデバイスをテストしたいという要望でした。その顧客は電流プローブ方式を使用して伝導型電磁波の結果を提供してくれました。一方、TI (テキサス インスツルメンツ) では電圧手法を使用してテストを行いました。さらに、顧客が制限した要件は dBm 単位で示されています。このような事情から、測定方法と dBm、dBμA、dBμV の単位間の変換との関係を理解したいという好奇心が刺激されました。問題は、異なる方法と単位が交換可能かどうかです。

CISPR25 のテストの構成

一般に、必要な試験装置は次のとおりです。基準グランドプレーン、電源、人工ネットワーク、負荷シミュレータ。図 1 と図 2 に、電圧方式のリモートグランドと電流プローブ方式のリモートグランドの物理的なテスト構成をそれぞれ示します。包括的なテスト構成と要件については、CISPR25 (*Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques: 国際無線障害特別委員会*) に概要が説明されています。

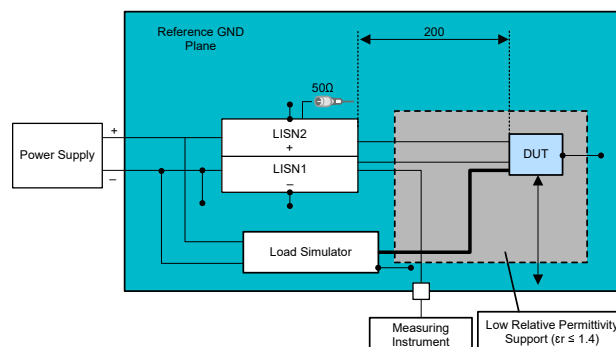


図 1. 電圧方式リモート GND テスト設定

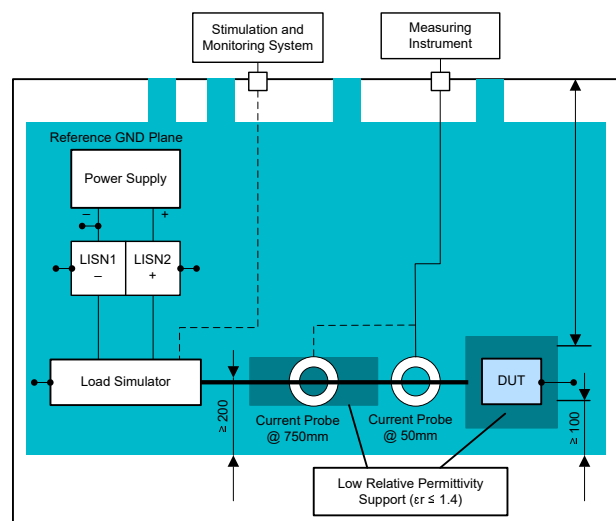


図 2. 電流プローブ方式のリモート GND テスト設定

人工ネットワークはライン インピーダンス スタビライザ ネットワーク (LISN) と呼ばれ、リファレンス グランド プレーンに直接配置します。LISN の目的は、直流 (DC) バッテリーを監視している DUT によって検出されたインピーダンスを安定させ、電源ケーブルに存在する外部ノイズを遮断することです。図 1 と図 2 から、バッテリーの負極端子と正極端子にそれぞれ接続された LISN1 と LISN2 という 2 つの別々の LISN があることがわかります。電圧法リモート グラウンド テスト設定を使用する場合、測定装置に接続されていない LISN2 は 50Ω の負荷で終端することが重要で

す。このインピーダンス整合は、ソースへの反射がなく、測定が有効であることを確認するためのものです。

電圧方式による CISPR25 伝導型電磁波測定は、0.15MHz から 108MHz までの周波数範囲、電流プローブ方式の場合は 0.15MHz から 245MHz までの範囲で実行されます。2 つの方法のテスト設定ポイントと測定ポイントも異なります。図 1 を参照して、ケーブルの一方の端を LISN1 に接続し、もう一方の端をスペクトル アナライザに接続することで、人工ネットワークから直接測定を行います。ただし、図 2 に示す電流プローブ方式では、プローブはワイヤハーネス全体で DUT にクランプし、スペクトルアナライザに接続して測定します。

シミュレーションと結果

シミュレーションは、PSPICE-for-TI を使用して実行しました。回路図については、図 3 を参照してください。12V DC 電源を使用して自動車のバッテリーをモデル化します。正の LISN モデルには、バッテリーの正端子に接続された L1、C1、C2、R1、および R2 が含まれています。同様に、負の LISN はバッテリーの負端子に接続されます。すでに説明したように、50Ω の抵抗 R2 と R7 は、スペクトラムアナライザとダミー負荷に対する 50Ω の終端を表しています。最後に、理想的な正弦波電流源を使用して DUT をモデル化しました。電圧法のテストをシミュレートするために、50Ω の抵抗の両端間で電圧を測定しました。PSPICE-for-TI では電流を測定するノードが必要なため、電流プローブ手法シミュレーションには 1mΩ 抵抗を理想的なソースと直列に配置しました。

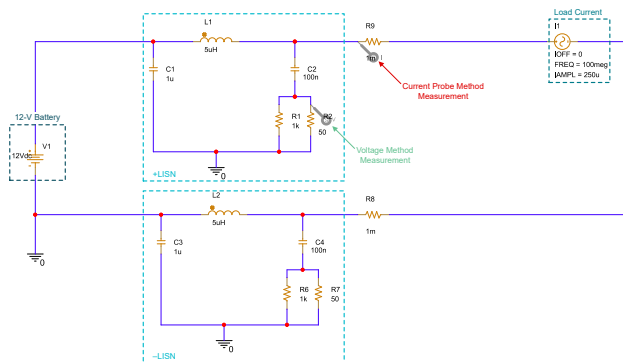


図 3. PSPICE シミュレーション

理論上、電流は常に最小インピーダンスのパスを取ります。したがって、シミュレーションではほとんどの電流がインダクタではなく 50Ω の抵抗を通して戻ると予想されます。ただし、低周波数では、100nF の直列コンデンサを使用することで、5μH インダクタのインピーダンスは 50Ω 抵抗に比べて小さくなります。インダクタのインピーダンスが抵抗を上回り始めるのは、1.5MHz の範囲付近になります。

シミュレーション結果を比較するために、理想的な正弦波電流源の周波数を 100kHz から 108MHz に増分ステップで変更しました。波形の周波数スペクトルは、PSPICE-for-TI の高速フーリエ変換 (FFT) 関数を使用して得たものです。この FFT データから電圧法のピーク測定値が mV 単位、電流プローブ法のピーク測定値が指定した周波数で μA 単位で得られました。

2 つの方法を公平に比較するために、次の式を使用してデータを dBμA、dBμ、dBm に変換しました。

$$dB\mu V = 20 \log_{10}(mV) + 60 \quad (1)$$

$$dB\mu A = 20 \log_{10}(\mu A) \quad (2)$$

$$dB\mu A = dB\mu V - 20 \log_{10}(Z) \quad (3)$$

$$dB\mu V = dB\mu A + 20 \log_{10}(Z) \quad (4)$$

$$dBm = dB\mu A + 10 \log_{10}(Z) - 90 \quad (5)$$

$$dBm = dB\mu V - 10 \log_{10}(Z) - 90 \quad (6)$$

dBμA と dBμV の単位を dBm に変換する場合、実質的に同じテストが実行されるため、値は同じであると予想されます。目標は、1 つのテストのみを採用し、結果を dBμV、dBμA、または dBm に変換し、電圧方式と電流プローブ方式の両方について合格または不合格の関係を確認することです。表 1 および表 2 に、0.15MHz と 100MHz でのシミュレーション結果を示します。これらの結果から、高い周波数では電流プローブ方式と電圧方式の測定値が低い周波数と比べてはるかに比較可能であることがわかります。

表 1. 0.15MHz でのシミュレーション結果

電圧方式	電流プローブ方式
1.2mV	249.9μA
27.4dBμA	47.9dBμA
61.4dBμV	81.9dBμV
-45.6dBm	-25.1dBm

表 2. 100MHz でのシミュレーション結果

電圧方式	電流プローブ方式
11.3mV	237.4μA
47.1dBμA	47.5dBμA
81.1dBμV	81.5dBμV
-25.9dBm	-25.50dBm

表 3 に、電圧方式と電流プローブ方式について、所定の周波数における CISPR25 の合格制限を示します。電圧法の制限は CISPR25 規格によるもので、電流プローブ法の制限は CISPR25 規格の単位である dBμA から比較のために dBμV に変換されます。

表 3. 電圧方式と電流プローブ方式の CISPR25 Class 5 ピーク制限値

周波数 (MHz)	電圧方式 (dBμV)	電流プローブ方式 (dBμV に変換)
0.15~30	70	84
0.53~1.8	54	60
5.9~6.2	53	53
76~108	38	38
26~28	44	44
30~54	44	44
68~87	38	38

表 3 は、周波数スペクトル全体にわたる LISN インピーダンス特性の影響を考慮した規格です。たとえば、0.15MHz ~ 0.3MHz でのピーク測定の場合、電流プローブ法と電圧法の差は

84dBμV – 70dBμV = 14dBμV ですが、表 1 に示す 0.15MHz でのシミュレーション データでは 81.93dBμV – 61.36dBμV = 20dBμV の差が見られます。高い周波数帯域では、規格と変換された値は同じです。たとえば、76MHz ~ 108MHz でのピーク測定の場合は 38dBμV – 38dBμV = 0dBμV ですが、表 2 に示す 100MHz でのシミュレーション データでは 25.93dBμV – 25.50dBμV ≒ 0.4dBμV の差が見られます。

CISPR25 ラボの結果

シミュレーション結果を検証するために、両方の方法で CISPR25 の伝導型電磁波の測定を実施しました。伝導型電磁波テストには、DRV8706-Q1 を採用した車載パワーウィンドウリフトのリファレンス デザイン基板を使用しました。電流プローブ方式では、プローブは入力電源ワイヤの周囲にのみ配置されています。電圧方式は入力電力に接続された LISN で測定するため、最適な比較は入力電源ワイヤの周囲の電流を測定し、差動モードと同相モードのノイズの両方を確実に測定していることを確認することです。

これら 2 つのラボの結果を比較するために、式 3 を使用して電圧メソッドの結果を dBμA に変換しました。次に、変換された電圧方式の結果を電流プローブ法の結果に対して dBμA でプロットしました。

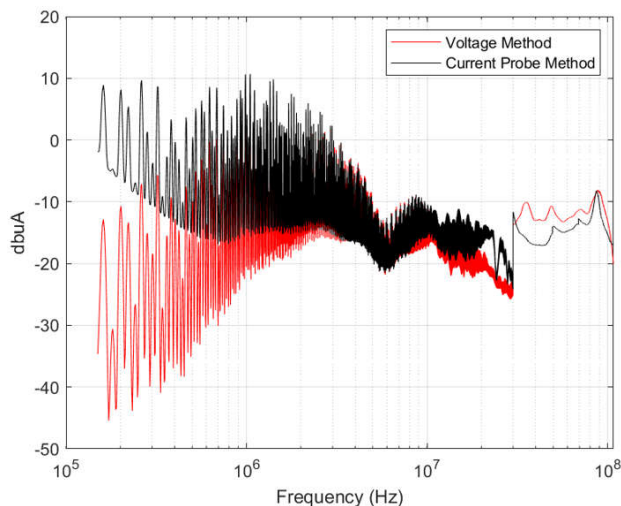


図 4. 電流プローブ方式と電圧方式の関係

電流プローブ方式の結果は、5MHz 以下の電圧方式よりも高くなる傾向があります。これは、LISN ネットワークのインピーダンス特性から予想されます。5MHz 以下では、一部の電流は 50Ω 負荷の電圧方式測定場所ではなく、LISN の 5μH インダクタを流れます。

これらの結果をより良く比較するため、電圧方式で得られた測定値から入力ワイヤを流れる電流を計算し、電流プローブ方式で得られた測定値と比較します。この入力ワイヤ電流は、LISN の既知のインピーダンス値を使用して計算します。

ここで、電流プローブ方式の結果を変換された電圧方式と比較してプロットすると、dBμA になります。

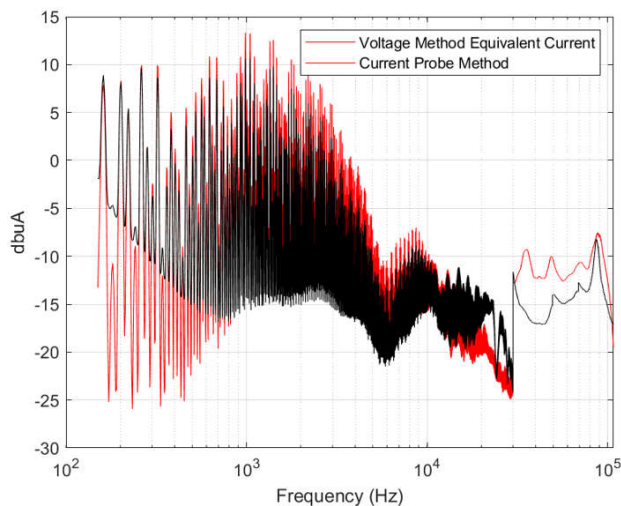


図 5. 電流プローブ方式と電圧方式の等価電流の関係

このデータから、電流プローブ方式と電圧方式の結果は非常によく似ていると結論できます。5MHz 以下では、結果はほぼ同じです。5MHz を超えると、この 2 つの方式の間にはわずかな違いがあります。

周波数が高い場合の結果に差がある理由は、幾通りかの説明ができます。一つ目は電流プローブの位置です。CISPR25 は、DUT から 50mm と 750mm の 2 つの特定の電流プローブの位置を定義しています。電流プローブを DUT と異なる距離に配置すると、特定の高調波がプローブの特定の位置でより明確になります。二つ目の説明として、電流プローブの直径または開口部が考えられます。一般的に、開口部が小さいほど、カップリングの効率が高くなります。開口部が大きい電流プローブは、低周波または高周波のカップリング効率を最適化することができます。電流プローブの位置と開口部の両方で、電流プローブの結果の大きな変動について説明できます。

まとめると、電流プローブ方式と電圧方式の CISPR25 伝導型電磁波レベルは、ほぼ等しい制限ラインとなるように選択されたことに注意することが重要です。シミュレーションでは、低周波数では、LISN ネットワーク内の 5μH インダクタのインピーダンスによって、50Ω 抵抗ではなくインダクタにいくらかの電流が流れることがわかりました。その結果、電圧方式の上限値が 5MHz を下回るようになります。全体として、この 2 つの方法は広く使用されており、その違いを理解しておくことが重要です。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

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