

絶縁型 ADC シグナル チェーン ソリューション向け低 EMI 設計

Dr. Ralph Oberhuber

Precision Analog-to-Digital Converters

はじめに

現在、電子デバイスが非常に大量に使用されていることと、これらのデバイスのサイズが継続的に縮小していることから、電磁干渉 (EMI) は回路設計者にとって大きな問題となっています。通信、計算、オートメーションで使用する回路は、互いに近接した場所で動作する必要があります [1]。製品は、政府の電磁適合性 (EMC) 規制にも準拠する必要があります。事実上すべての国が、自国内で流通、販売される電子製品の EMC を規制しています。米国では、連邦通信委員会 (FCC) がすべての商用 (非軍事用) の電磁放射源 [2] を規制し、米国規格協会 (ANSI) の C63.4 [3] などの規格で放射および伝導 EMI テスト手順を規定しています。欧州連合 (EU) の各国は、電磁エミッションと電子機器の耐性の両方を規制しています。電磁適合性指令 [4] は基本的に、機器が EMC の整合規格に準拠し、それに基づいてテストおよびラベル付けされる必要があると規定しています。

さまざまな種類の機器に関連する多数の EMC 規格があります。たとえば、国際電気標準会議 (IEC) 61000 規格は、ほとんどの商用製品の耐性要件を網羅しているのに対し、Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) 32 規格は伝導型と放射型のエミッションに関する制限を規定しています [5]。表 1 に、関連する製品分野の CISPR、欧州規格、FCC 規格を示します。米国や EU 以外の多くの国では、FCC または EU の EMC 要件への準拠を指定しているか、独自の要件があります。米国と欧州以外の国や地域の規制は、多くの場合、FCC または EU の要件に似ています [6]。

製品分野	CISPR 標準規格	EN 標準規格	FCC 標準規格
車載	CISPR 25	EN 55025	-
マルチメディア	CISPR 32	EN 55032	Part 15
産業、科学、医療	CISPR 11	EN 55011	Part 18
家電製品、電動工具など	CISPR 14-1	EN 55014-1	-
照明機器	CISPR 15	EN 55015	パート 15 および 18

表 1. 放射型と伝導型のエミッションに関する主な製品規格の概要 [5]。

スマートメーターなど特定の種類の機器を検討する場合、低 EMI のニーズはさらに明白になります。スマート電気メーターは、将来の配電にとって重要な要素です。電力会社とエンドユーザーの両方に使用状況に関するリアルタイム データを提供することで、利用者がエネルギー使用量を監視することができ、メーター読み取りを行う必要がなくなります。スマートメーターの大半は、ワイヤレス M-Bus や ZigBee などのワイヤレス通信 [7] を経由するか、携帯電話ネットワーク (GSM、LTE cat NB1-NB2、2G/3G/5G) に接続します。図 1 に示すように、スマート電気メーターは無線周波数 (RF) トランスミッタ回路を搭載しており、通常はエネルギーメーター (計測) 回路基板と同じハウジングに搭載されます。800MHz、900MHz、1,800MHz、2,100MHz、2,700MHz などの周波数で動作する RF 通信に影響を与えないように、計測回路からの放射エミッションを最小限に抑えることが重要です。計測回路は、感受性の高いエネルギー測定フロントエンドへの RF ノイズの注入による課金エラーを防止するために、電磁感受性 (ワイヤレス通信からの電磁エネルギーに耐える能力) の点でも耐性を持つ必要があります。

ここでは、EMI の発生源、特に放射エミッションについて説明します。また、詳細なレイアウト例や測定結果など、アナログシグナルチェーンの EMI を最小化するいくつかの手法を提示します。

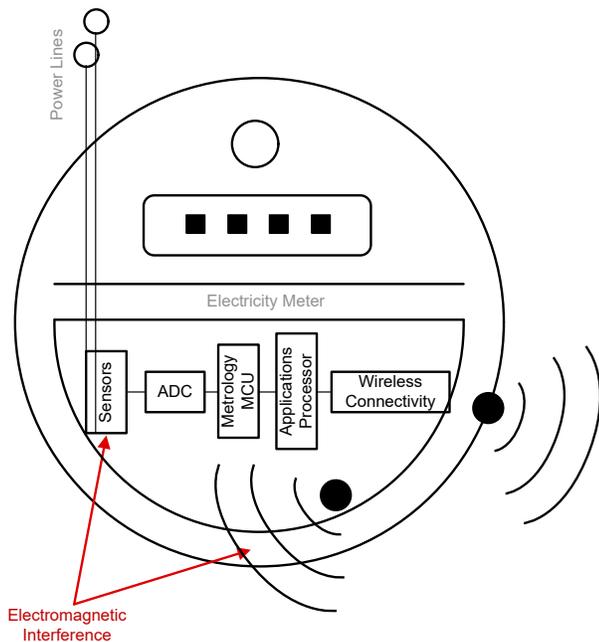


図1. RF 対応のスマート電気メーター。

EMI と放射エミッションの発生源

EMC とは、電気システムが意図する環境で EMI が存在しても適切に機能する能力を意味し、関連する規格 [1] で規定されている制限を超えて電磁環境に対する干渉源にならないことを意味します。

EMI には放射型と伝導型があります。放射干渉は電波の形で伝わり、RF 干渉とも呼ばれます。伝導型干渉は、信号と電力を伝送するケーブル内の電流によって生成される磁界に起因します。

ここでは、放射エミッションの最小化に焦点を当てます。プリント基板 (PCB) またはその PCB に搭載されている集積回路 (IC) の内部には、放射エミッションの主な発生源がいくつか存在します。

- デジタル信号の遷移中に電圧レベルが急速に変化する、クロック信号などのスイッチング信号。これは、信号内の

高周波成分が原因で発生します。スイッチング信号とクロック信号は、IC 内および IC 間でのさまざまなコンポーネントの動作の同期に不可欠です。

- 電源ラインを流れる電流に急激な変化を引き起こすスイッチングレギュレータとその他の部品。
- 入出力バッファ、特に、高速の信号遷移を処理する USB、HDMI、イーサネットなどの高速インターフェイスに関連するバッファ。
- IC の内部回路内の非線形動作によって生成される、基本信号より高い周波数の高調波。
- IC のインターコネクと構造内の寄生静電容量、インダクタンス、抵抗。
- ESD 保護回路をトリガする静電気放電 (ESD) イベント。

図 2 に、テキサス・インスツルメンツの AMC131M03 (ガルバニック絶縁 A/D コンバータ (ADC) [8]) と、その内部アーキテクチャや PCB 上の接続から生じる主な放射エミッション源を示します。ADC は三相電力計用途で使用されます。単相 (位相 A) の回路を 図 2 に示します。このシグナルチェーンは、エネルギー監視の目的で、電圧と電流の測定値を抽出するように設計されています [8]。ADC のチャンネル 0 はシャント抵抗を使用して位相電流を測定し、チャンネル 1 は分圧回路を通じて位相電圧を測定します [8]。エミッションに最も寄与するのは、高電圧側の絶縁型電源を生成する内部スイッチング DC/DC コンバータ (図 1 の A) です [8]。放射エミッションの発生源で 2 番目に大きいのはデジタル絶縁 (図 2 の b) です。これは、この絶縁がスタック型コンデンサのバリアを通過する高周波のオン / オフ キーイング送信を使用しているためです [8]、[9]。さらに、ADC 変調器のクロック CLKIN (図 2 の c) や、ADC とマイクロコントローラ間のデジタル通信インターフェイス (図 2 の d) などのクロック信号は、幅広い周波数の電磁波を放射します。

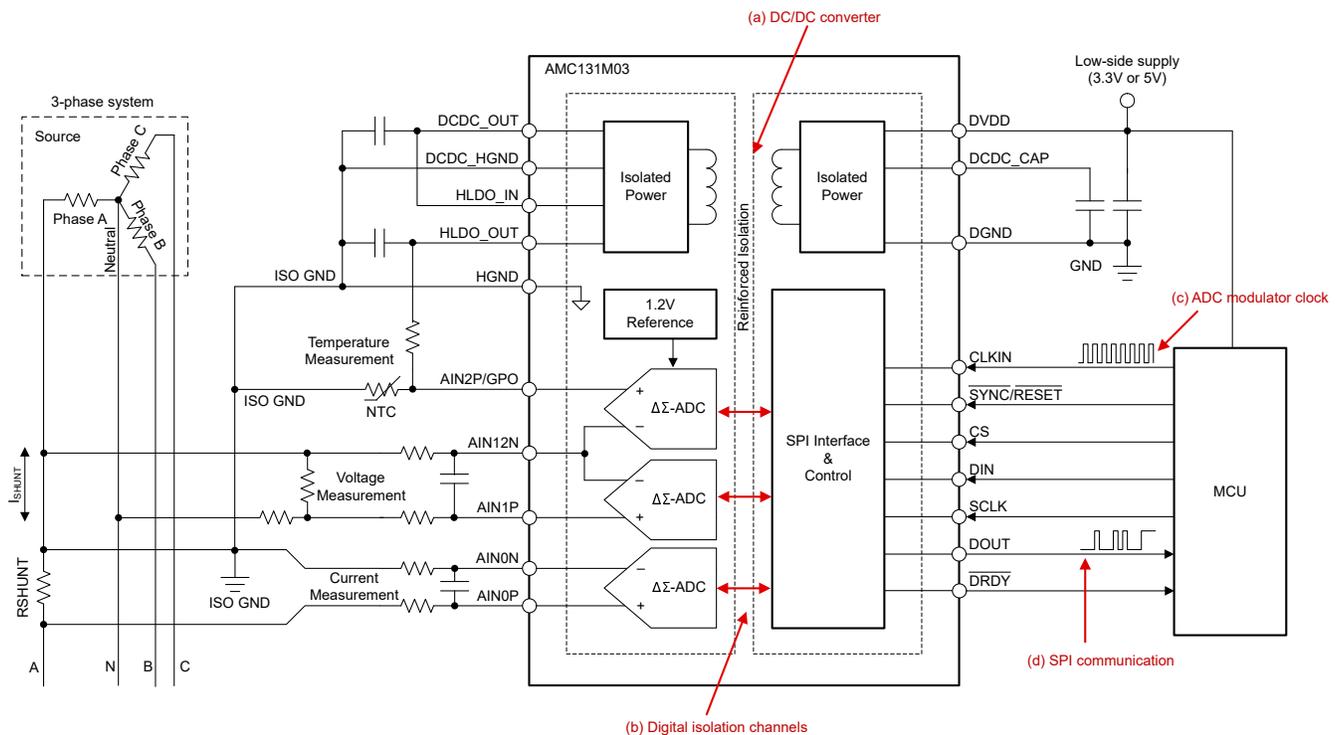


図2. 絶縁型 ADC を使用したアナログ シグナル チェーンと、放射エミッションの発生源。

EMI を最小化するための手法

EMI を最小化するためのいくつかの一般的な PCB 設計手法。詳細は参考文献でも説明されています [1]、[10]、[11]。

- 適切な接地。これは、放射エミッションを低減する最も効果的な方法の 1 つです。注意して接地することで、アンテナとして動作するグラウンド ループを回避できます。グラウンド プレーンを使用すると、ループ面積を減らし、信号のリターン パスを提供して、EMI の可能性を減らすことにも役立ちます。しかし、それ以外の場合は、グラウンド プレーンが敏感なノード上にアンテナを形成し、放射エミッションが増加する可能性があります (図 5 に示す具体的な例を参照)。
- 部品の配置。特に高速信号の場合、信号配線の長さを最小化できるように部品を配置します。干渉を避けるため、デジタル コンポーネントとアナログ コンポーネントを分離してください。
- 直線的で短い配線取り回し。高速信号の配線を直線的に配線し、できるだけ短くすることで、EMI の可能性を最小限に抑えることができます。また、配線経路が直角に曲がることのないように注意してください。直角に曲がることで、反射や信号損失が発生する可能性があります。
- デカップリング コンデンサの使用。デカップリング コンデンサは、高周波ノイズからグラウンドへの短いリターン パスを実現できます。デカップリング コンデンサを IC の電源ピン のできるだけ近くに配置します。
- 制御されたインピーダンス。信号配線のインピーダンスを制御すると、ソースと負荷のインピーダンスが一致し、放射エミッションにつながる可能性のある信号の反射を防止するのに役立ちます。
- シールド。場合によっては、PCB の特定の領域に金属シールドまたはシールド素材を使用することで、放射を防止できることがあります。
- フィルタの使用。フィルタは、放射エミッションを引き起こしている特定の周波数をブロックすることができ、電源回路では特に有用です。
- 積層。多層 PCB では、EMI が最小化されるように各層を配置するように注意します。一般的に、電源層とグラウンド層を交互に使用することをお勧めします。この方法はループ面積を減らし、信号のリターン パスを確保するのに役立つからです。一番上と一番下の接地層は、放射エミッションを生成するクロックなどの内部信号層のシールド フィールドとして機能するのに役立ちます。

- クロック高調波の回避。クロック信号は、回路の他の部分と干渉する可能性のある高調波を生成することがあります。スペクトル拡散手法は、これらの高調波を拡散し、影響を低減するのに役立ちます。
- EMI シミュレーション。放射エミッションのシミュレーションツールは、PCB 設計フェーズで EMI を予測し最小化するのに役立ちます [12]、[13]。

図 3 に、図 2 で紹介したアナログ シグナル チェーンの詳細な回路図を示します。

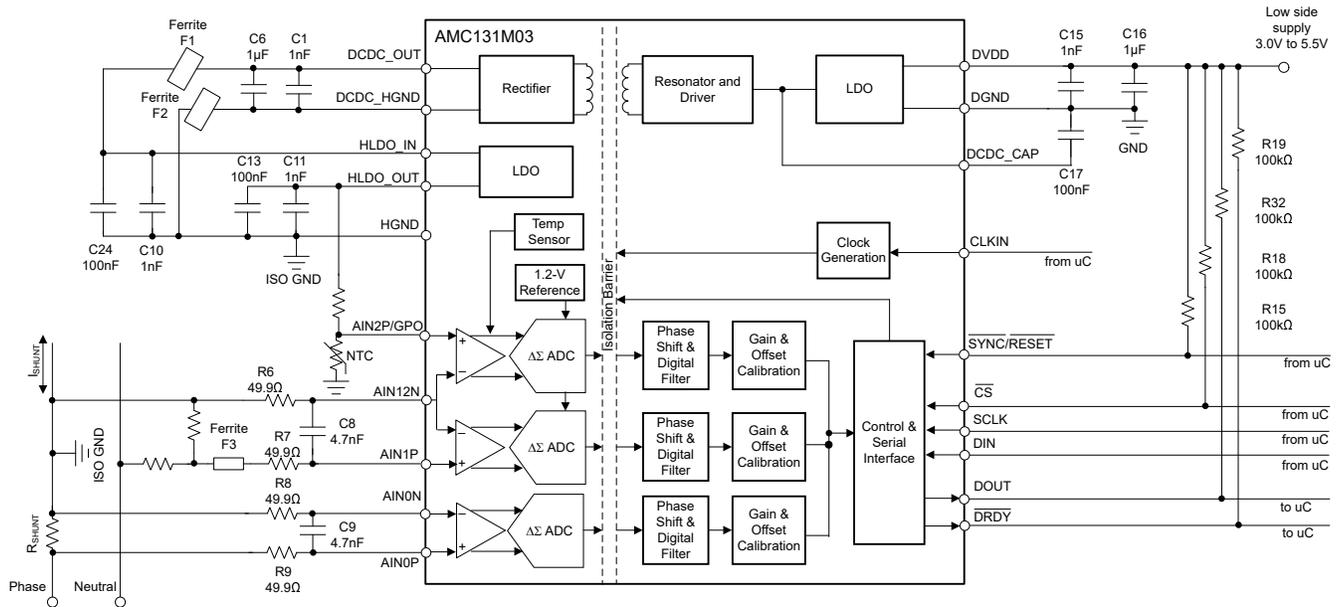


図 3. 図 2 のアナログ シグナル チェーンの詳細な回路図。

図 4 および 図 5 に、AMC131M03 の対応する PCB レイアウトへの放射エミッション低減手法の応用を示します。図 4 に、高電圧ドメイン (AMC131M03 の左側の PCB 領域) での ADC 入力および電源配線用のパターンを短くし、バイパスコンデンサ C1、C6、C8、C9、C11、C13、C14、C24 を IC の近くに配置した「良好な」レイアウトを示します。

EMI を低減するうえで重要な要素の 1 つは、絶縁型グランドノード ISO_GND の接地方式です。配線長を最小化し、高電

圧ドメインにグランドプレーンを配置しないことで、このノードのアンテナが最小化され、放射エミッションが最小化されます [14]。フェライトビーズ F1 と F2 を電源接続 DCDC_OUT と DCDC_HGND に挿入し、高周波ノイズを遮断します。電圧測定用に、(PCB の設計に依存する) 過剰な放射エミッションの周波数で高インピーダンスのフェライトビーズ (F3) を分圧回路と直列に追加して配置することもできます。

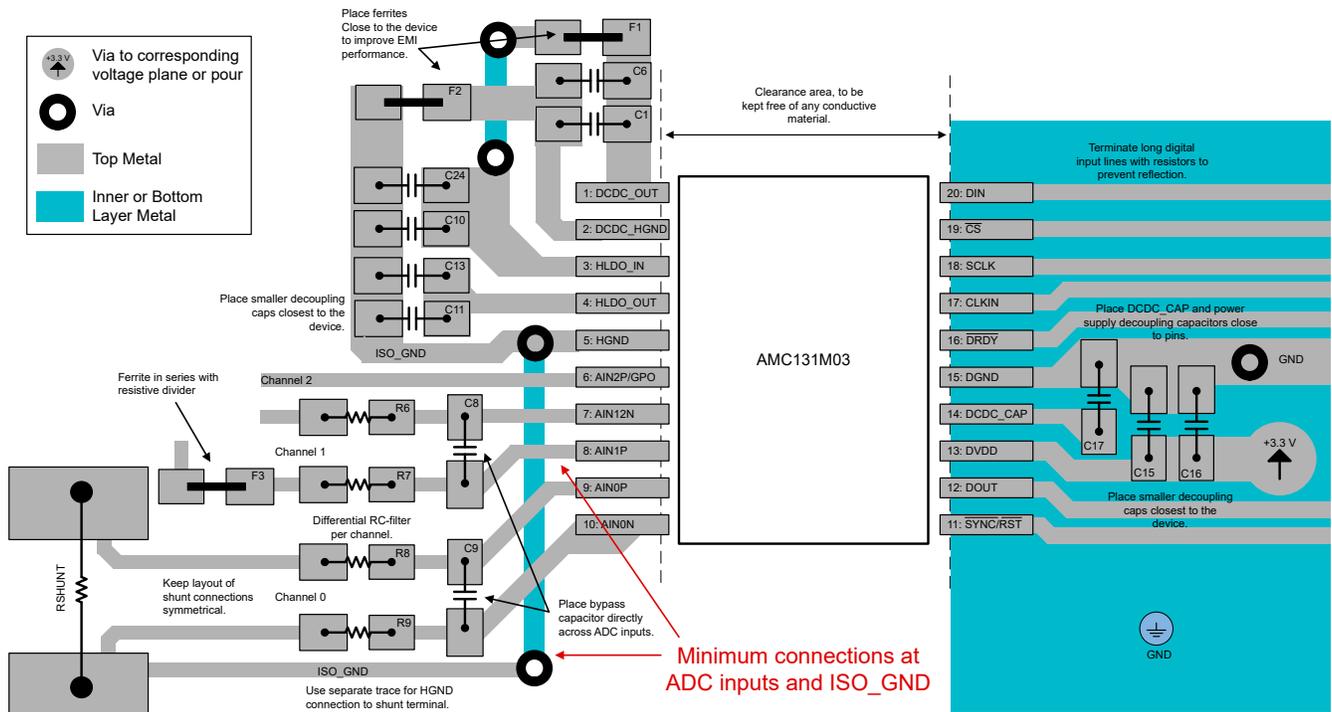


図 4. 良好な PCB レイアウト (低 EMI)。

図 5 に、「悪い」レイアウトを示します。ここで ISO_GND ノードに接続されたグラウンド プレーンはアンテナとして動作し、放射エミッションが大幅に増加する可能性があります [14]。

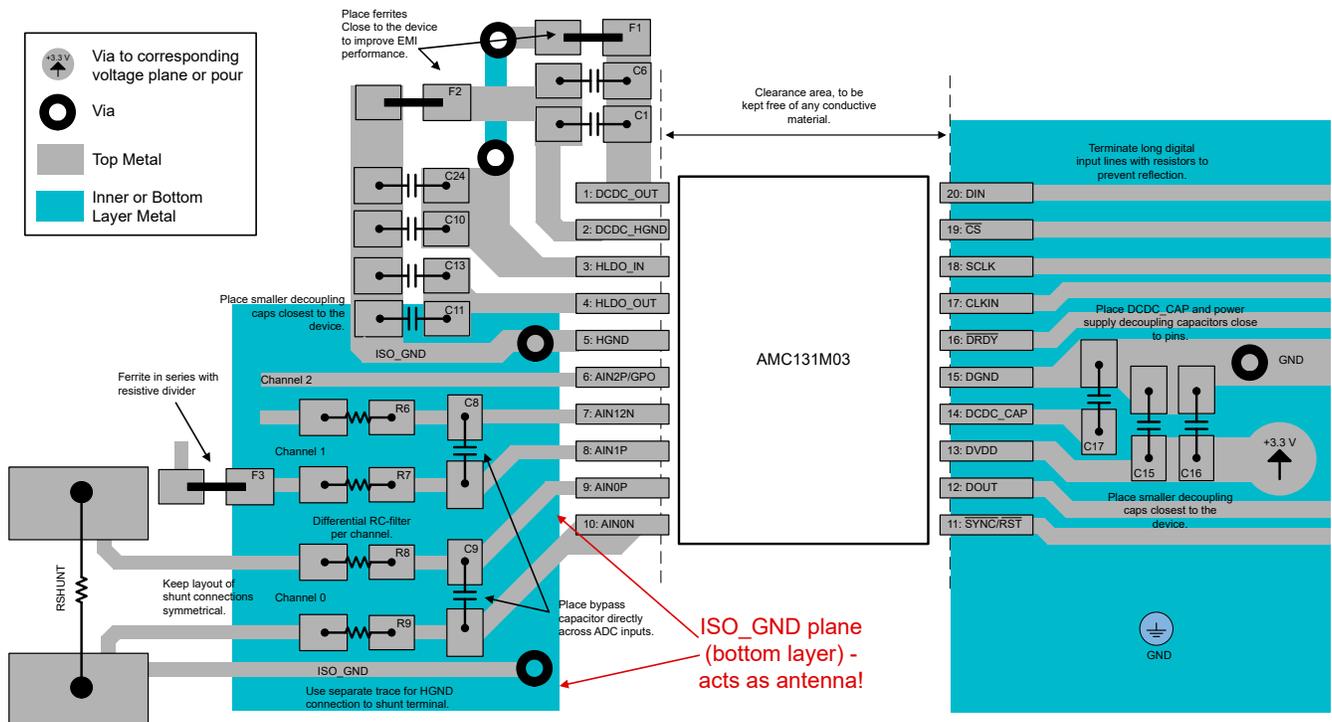


図 5. 悪い PCB レイアウト (高 EMI)。

図 6 と 図 7 は、図 4 に示すレイアウト実装を使用した AMC131M03 PCB の放射エミッションの測定結果を示します。測定は、3m の距離を取った水平偏波と垂直偏波に構成された広帯域アンテナを使用しており、半無響室での CISPR 11 の要件に従っています。ADC は CLKIN ピンで連続クロックを受信し、変換結果を生成しています。ただし、エミッションプロファイルの特性評価が行われている間は、シリアルペリフェラルインターフェイス通信は行われません。この設計は、13dB のマージンを確保して、CISPR 11 Class A と Class B の各規格を満たしており、データと電力の両方に関して強化絶縁を達成した ADC として、市場で最小の放射エミッション性能を実現します。

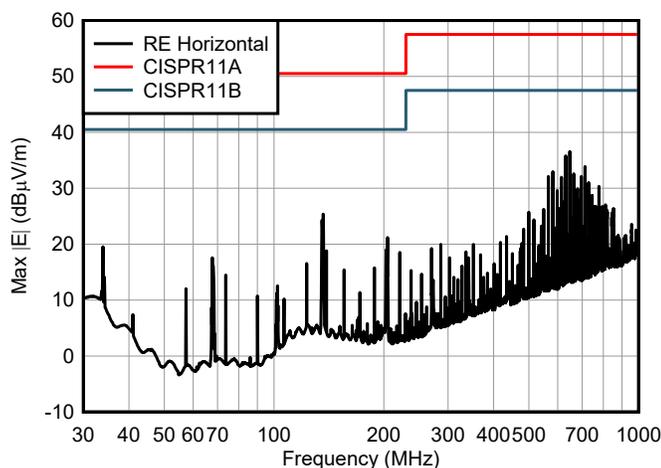


図 6. 水平放射エミッション CISPR 11 測定結果

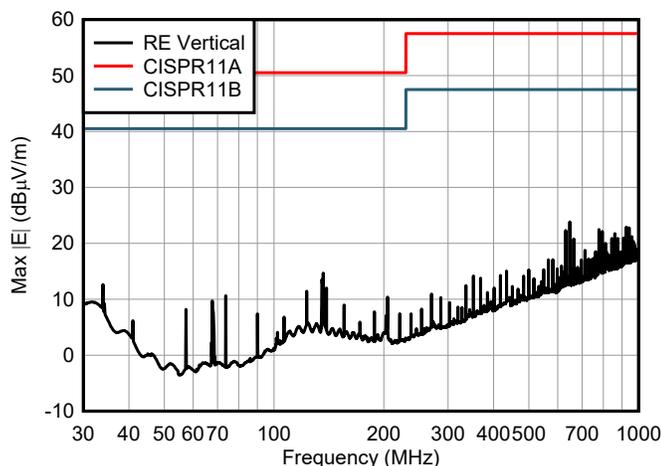


図 7. 垂直放射エミッション CISPR 11 測定結果

まとめ

電子回路が設計どおりに動作するには EMI から保護する必要があります。同時に、回路自体が他の機器の性能を低下させる、または他の機に悪影響を与える可能性のある電磁波を放射しないようにする必要があります。EMC 規格に準拠するには、部品レベル、基板レベル、システムレベル、システム全体の 4 つのレベルで EMI 保護を行う必要があります [15]。

ここで紹介する手法は、PCB (基板) 設計レベルで EMI を最小化し、電気メーターで使用される強化絶縁を採用したクラス最高の高精度 ADC シグナル・チェーンである実用的な例 [16] に簡単に適用できます。提案されている EMI 低減手法を使用して慎重に設計すると、関連する EMC 規格に対して十分なマージン [17] を確保できます。

参考資料

- Ott, Henry W. 2009. 『電磁気互換性エンジニアリング』 Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- 『第 15 部 - 無線周波数デバイス』FCC Title 47, Chapter I, Subchapter A. FCC: Washington, D.C., Jan. 11, 2024.
- 『9kHz ~ 40GHz の範囲の低電圧の電気および電子機器からの無線ノイズ放射の測定方法に関する米国国家規格』IEEE C63.4-2009. Piscataway, New Jersey, Sept. 15, 2009.
- 『欧州議会および欧州理事会 (2004 年 12 月 15 日) の電磁両立性に関する加盟国の法律のすり合わせに関する指令 2004/108/EC および廃止指令 89/336/EEC』欧州連合の公式ジャーナル。Brussels, Belgium, Dec. 31, 2004.
- テキサス・インスツルメンツ: 『電源の伝導 EMI 仕様の概要』
- LearnEMC.com. n.d. 『EMC 規制』アクセス日: 2024 年 1 月 14 日。
- Envocore.com. n.d. 『スマートメーターの通信方法』アクセス日: 2024 年 1 月 14 日。
- テキサス・インスツルメンツ n.d. 『AMC131M03 3 チャンネル、同時サンプリング、24 ビット絶縁型デルタシグマ ADC』アクセス日: 2024 年 1 月 14 日。

9. テキサス・インスツルメンツ:『[高信頼性こそ低コストの絶縁技術により高電圧の課題を解決](#)』
10. Altium.com. n.d.『[EMIを低減するためのPCB設計手法](#)』アクセス日:2024年1月14日。
11. Analog Devices (Maxim Integrated).『[EMI保護の実践的な側面](#)』チュートリアル 1167、2002年8月21日
12. Remcom. n.d.『[電磁シミュレーションソフトウェア](#)』アクセス日:2024年1月14日。
13. Cadence. n.d.『[Clarity 3D トランジェント ソルバ](#)』アクセス日:2024年1月14日。
14. テキサス・インスツルメンツ:『[AMC3301 ファミリの放射エミッション EMI を減衰させるためのベストプラクティス](#)』
15. Electronic Design. n.d.『[電子システムの EMI 規格に準拠](#)』アクセス日:2024年1月14日。
16. テキサス・インスツルメンツ:『[高電圧強化絶縁:定義とテスト手法](#)』
17. テキサス・インスツルメンツ:『[デジタル アイソレータにおける電磁適合性試験の理解](#)』

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

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

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