

**AD4111 を使用した IEC 61000-4-X 規格および CISPR 11 規格対応の  
工業用オートメーション向けアナログ入力設計**

著者 : Li Ke

**はじめに**

AD4111 は低ノイズ、高速セトリングの 24 ビット  $\Sigma$ - $\Delta$  A/D コンバータ (ADC) を内蔵しており、そのアナログ・フロント・エンドは完全差動またはシングルエンドのバイポーラ $\pm 10V$  電圧入力および、シングルエンドの 20mA 入力に対応します。AD4111 は、工業用オートメーション・アプリケーションのプログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC) モジュールおよび分散制御システム (DCS) モジュールで機能するように設計されています。

このアプリケーション・ノートでは、AD4111 を代表的な $\pm 10V$  の電圧入力と 0mA $\sim$ 20mA の電流入力で使用できる、AD4111 電磁両立性 (EMC) プリント回路基板 (PCB) の機能について解説します。この基板設計により、工業用オートメーション・ア

プリケーション向け EMC ソリューションが実証されます。IEC 61000-4-x シリーズの規格では、電子電気機器のシステム・レベルでのイミュニティの評価方法が規定されています。

AD4111 EMC テスト・ボードの特性評価によって、この回路の性能が、放射される無線周波数 (RF) や RF 伝導妨害の影響を受けることがなく、静電放電 (ESD)、電氣的ファスト・トランジェント (EFT)、サージに対して十分なイミュニティを保持していることが確認されます。また、この基板は CISPR 11 についても試験が行われ、基板の放射エミッションがクラス A の限界を十分下回っていることが確認されます。

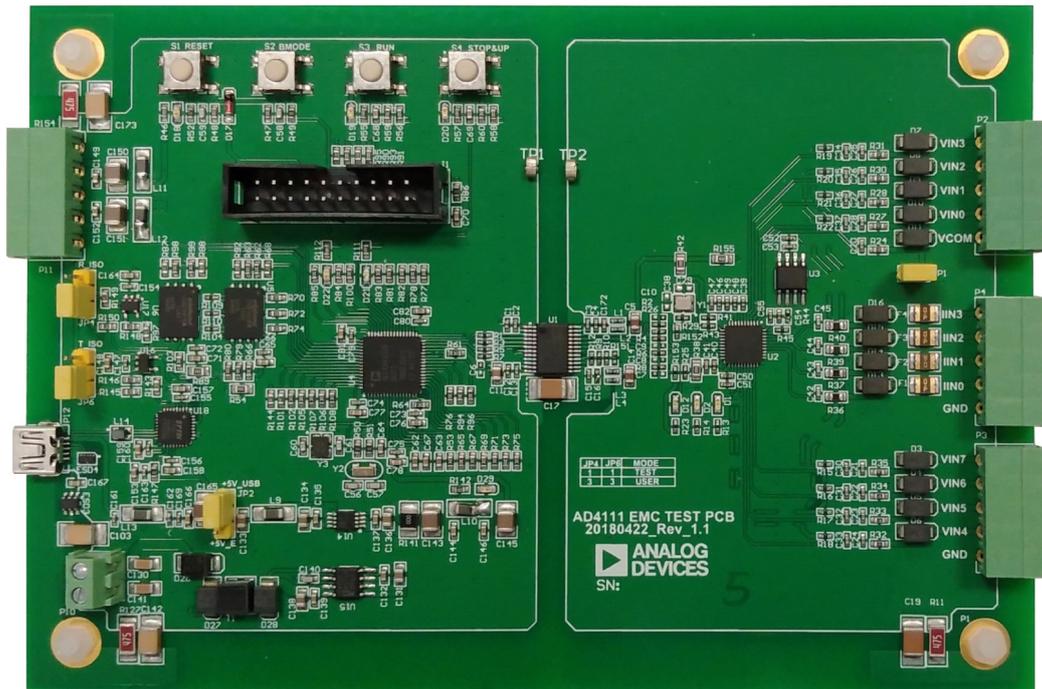


図 1. AD4111 EMC テスト・ボードの写真

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

## 目次

はじめに .....	1	ESD 保護 .....	7
改訂履歴 .....	2	AD4111 EMC テスト・ボードの EMC および EMI 測定結果 .....	8
システム設計 .....	3	伝導耐性 .....	8
AD4111 ADC の説明 .....	3	ESD 耐性 .....	9
回路の説明 .....	3	電気高速トランジエントに対するイミュニティ .....	13
回路の評価とテスト .....	4	サージ耐性 .....	16
必要なソフトウェア .....	5	放射耐性 .....	19
必要な装置 .....	5	放射エミッション .....	22
規格と性能基準 .....	5	EMC 基板の回路図とアートワーク .....	24
プリント回路基板 .....	6	オーダー情報 .....	30
部品配置とレイアウト時の考慮事項 .....	6	部品表 .....	30
他の部品の考慮事項 .....	7		
電圧源保護 .....	7		

## 改訂履歴

10/2018—Revision 0: Initial Version

## システム設計

### AD4111 ADC の説明

AD4111 は、完全差動またはシングルエンド・バイポーラの  $\pm 10V$  の電圧入力および、 $0mA \sim 20mA$  の電流入力に対応するアナログ・フロント・エンド (AFE) を内蔵した、低消費電力で低ノイズの 24 ビット  $\Sigma$ - $\Delta$  ADC です。完全にセトリングされたデータの最大チャンネル・スキャン・レートは、 $6.2kSPS$  ( $161\mu s$ ) です。

$2.5V$ 、低ドリフト ( $5ppm/^\circ C$ ) の内部バンドギャップ・リファレンスが出力リファレンス・バッファ付きで組み込まれており、外付け部品数を減らすことができます。デジタル・フィルタにより柔軟な設定が可能で、 $27.27SPS$  の出力データ・レートで  $50Hz$  と  $60Hz$  を同時に除去することもできます。様々なフィルタ設定の中から、アプリケーションの各チャンネルの要求に応じた選択が可能です。ADC は、自動チャンネル・シーケンサにより、イネーブルされた各チャンネルを切り替えることができます。

AD4111 の高精度性能は、アナログ・デバイセズが独自に開発した *iPassives™* 技術の実装により実現しています。また、デバイスは、仕様規定されている精度を実現するように出荷時に補正されています。AD4111 には、電圧入力に対する独自の断線検出機能 (特許申請中) もあり、システム・レベルの診断が可能です。このデバイスは  $3V \sim 5V$  の単電源で動作し、ガルバニック絶縁アプリケーションに容易に導入可能です。

詳細については、AD4111 のデータシートを参照してください。

### 回路の説明

AD4111 は、過酷な工業用環境にさらされる PLC アプリケーションや DCS アプリケーション向けに設計されています。また、IEC 6100-4-x 規格と CISPR 11 規格にも適合しています。

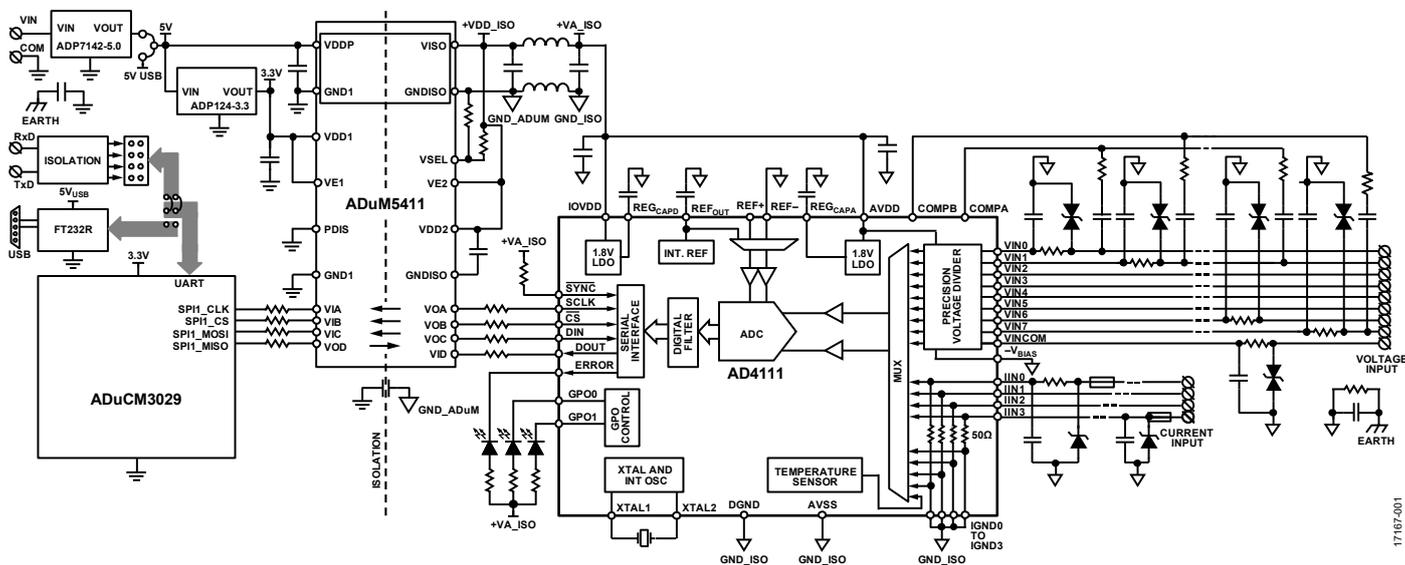


図 2. 回路内の AD4111 EMC テスト・ボード

図 2 に示した回路は、過酷な EMI および EMC 条件で AD4111 を用いる場合の、複数チャンネルのグループ絶縁された工業用電圧/電流入力モジュールの代表例を示しています。

この回路例では、超低消費電力の Arm® Cortex-M3 マイクロコントローラ・ユニット (MCU)、ADuCM3029 が、ローカルのオンボード制御およびホスト・コンピュータとのデータ通信を処理します。DC/DC コンバータ内蔵の 4 チャンネル・アイソレータ、ADuM5411 によって、 $3V \sim 5V$  の単電源で動作する絶縁アナログ入力の設計に対する簡素で堅牢なソリューションが可能となっています。AD4111 は電流入力 (電圧入力がシングルエンドかバイポーラ差動かを問わず) も同時に処理できます。

2 個の低ドロップアウト・レギュレータ (LDO) によって、この回路例において基板の機能に必要な電圧を供給している内蔵電源は大幅に簡素化されています。ADP7142 は  $6V \sim 40V$  の入力を  $5V$  に降圧して、ADuM5411 のプライマリ側に給電します。ADP124 は、ADP7142 の出力をマイクロプロセッサと ADuM5411 のデジタル・アイソレータ・セッション用に  $3.3V$  に調整します。

これらの電源回路は、代表的な工業用オートメーションの制御システムの電源モジュールやバックプレーン電源の堅牢性に見合うものとなるように設計されているわけではありません。基本的な保護機能が実装されているだけです。AD4111 EMC テスト・ボードには、ホスト・コンピュータからの  $5V$  ユニバーサル・シリアル・バス (USB) 電源で十分に機能し、同時に非絶縁の汎用非同期レシーバー・トランスミッタ (UART) を通じてホストと通信を行うオプションもあります。EMI および EMC の試験中、AD4111 EMC テスト・ボードには別の  $12V$  DC 電源から給電し、データは基板外の絶縁データ・リンクを介してホスト・コンピュータに送信することもできます。

## 回路の評価とテスト

AD4111 EMC テスト・ボードは、ホスト・コンピュータに接続して、あるいはスタンドアロン・モードで使用できます。動作パラメータは内蔵フラッシュ・メモリに設定されています。放射試験中、基板はホスト・コンピュータから切り離されますが、ファームウェアが実行され、ハードウェアは動作を維持します。イミュニティ試験では、基板は絶縁データ・リンクを通じてホスト・コンピュータに接続されます。ホスト・コンピュータ上でシリアル・ポートのデータ・キャプチャ・プログラムが、AD4111 から ADC 変換後のサンプルを受信します。

EMC テスト基板の AD4111 には、部品レベルで標準的な工場出荷時のキャリブレーションのみが行われています。基板レベルでのキャリブレーションが追加で行われることはありません。

出力データ・レートを 1007SPS に設定した場合、AD4111 は、電圧と電流の VIN0~VIN1、VIN6、VIN2~VIN3、VIN7、VIN4~VIN5、IIN3、IIN2、IIN1、IIN0 の各入力チャンネルを、連続的なシーケンスでサンプリングします。EMC 試験での性能評価中、VIN2~VIN3 は差動電圧入力チャンネルを、VIN7 はシングルエンドの電圧入力チャンネルを、IIN3 は電流入力チャンネルを表します。EMC 試験でのこれ以外の接続は表 1 に示すとおりです。

表 1. EMC 試験における AD4111 のピン接続

AD4111 Pin	Connection in the EMC Tests
AVDD	5 V
IOVDD	5 V
AVSS	GND_ISO
DGND	GND_ISO
REF+	Internally enabled
VIN0 to VIN1	GND_ISO
VIN6	GND_ISO
VIN2 to VIN3	2.5 V
VIN7	2.5 V
VIN4 to VIN5	GND_ISO
IIN3	2.5 V
IIN2	GND_ISO
IIN1	GND_ISO
IIN0	GND_ISO

破壊の可能性のある EMC 試験の前後で、基板は 2.5V の外部信号源を、独立の高精度ベンチトップ・デジタル・マルチメータ (DMM) と共にサンプリングします。電圧または電流に変換された後、対象チャンネルからの AD4111 のサンプリング値は、これと同じ期間に測定された DMM の値と比較され、誤差が求められます。性能の基準を満たすためには、2 つの測定値の差異が予め設定された範囲内にあることが必要です。最大許容誤差はフル・スケールの 0.1% で、これは工業用オートメーション・アプリケーションの一般的な条件に一致するものです。

非破壊の EMC 試験では、基板は 2.5V の外部信号源をベンチトップ DMM と共にサンプリングします。電圧と電流の測定値を DMM の測定値と比較し、性能の基準を満たすかどうか判定します。

エミッション試験では、基板のアナログ入力チャンネルを絶縁グラウンドに短絡します。基板はホスト・コンピュータから切り離されますが、AD4111 は各チャンネルで 1007SPS のサンプリング・レートを維持します。このセットアップで唯一の追加デバイスは、12V のバッテリーで、これは EMC テスト・ボードに給電するものですが、EMI には影響しないものと見なされます。EMC 試験の一般的なセットアップを図 3 に示します。

1 対のツイスト・ペア線とその後段のローパス・フィルタが高精度信号源の出力を検出します。フィルタ処理された出力が 1 対のツイスト・ペア線で DMM に接続されます。DMM は USB ケーブルを介して PC に接続されています。ホスト・コンピュータの RealTerm ソフトウェアが、電気的に絶縁されたデータ・リンクを介して AD4111 のサンプリング・データを記録します。各 EMC 試験項目について、EMC テスト・ボードが電圧入力モードおよび電流入力モードで試験されます。

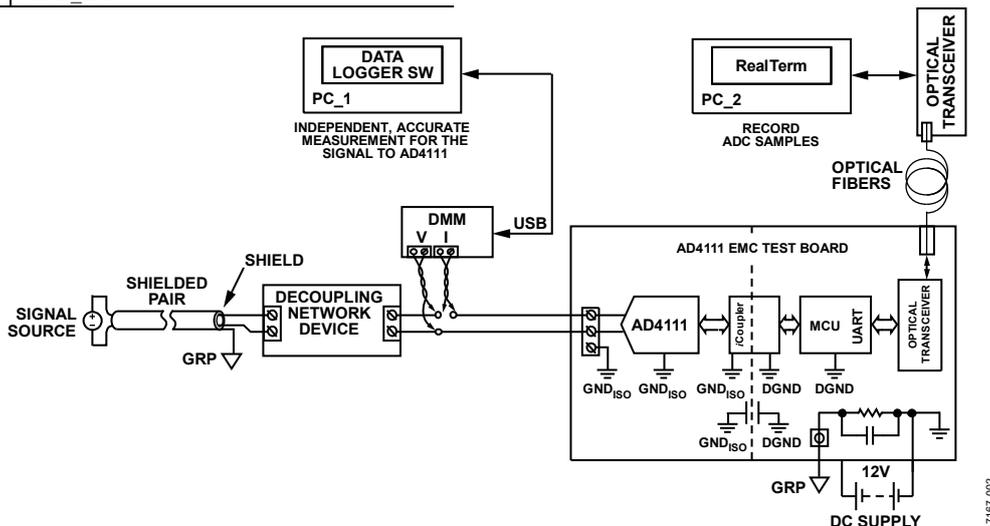


図 3. EMC 試験の一般的なセットアップ

## 必要なソフトウェア

AD4111 の EMC 試験を実施するには、次のソフトウェアが必要です。

- AD4111 EMC 基板上のファームウェア・レビジョン E0-01
- RealTerm : Serial/TCP Terminal 2.0.0.70
- Keysight Technologies BenchVue ソフトウェア V 2.6

## 必要な装置

AD4111 の EMC 試験を実施するには、次の装置が必要です。

- 光 USB トランシーバー基板
- 工業用光ファイバ・ケーブル
- Windows® 7、64 ビット・バージョン、イメージ V3.0.2011.10.14 を実行する PC
- DC 電源 : Agilent 3630A または YUASA NP7-12
- デジタル・マルチメータ : Keysight 33470A
- 高精度信号源 : [ADR421](#)
- シールド 2 芯ケーブル、フォイル/ブレード
- Schaffner FN353Z-30-33

## 規格と性能基準

本基板設計のための EMC および電磁場干渉 (EMI) の試験項目、制限事項、性能基準は、IEC 61131-2 に従って定められています。この規格に従い、適用可能な次の 6 試験を選択しました。

- IEC 61000-4-2
- IEC 61000-4-3
- IEC 61000-4-4
- IEC 61000-4-5
- IEC 61000-4-6
- CISPR 11

これらの規格に従い、性能基準は表 4 に示すように分類されま

す。AD4111 EMC テスト・ボードは、表 2 と表 3 に示した CISPR 11 および IEC 61000-4-x 規格で試験が行われ、合格しています。

表 2. エミッション性能試験の概要

Test	Basic Standard	Frequency Range	Limits	Measured Minimum Margin	Result
Radiated Emissions	CISPR 11 Class A	30 MHz to 1000 MHz	See Table 11 and Table 12	7.5 dB $\mu$ V	Pass

表 3. イミュニティ性能試験の概要

Test	Basic Standard	Test Levels	Performance Criterion	Measured Minimum Margin	Result
Conducted Immunity	IEC 61000-4-6	10 V/m	A	See Table 5	Pass
Radiated Immunity	IEC 61000-4-3	10 V/m	A	See Table 9	Pass
ESD	IEC 61000-4-2	$\pm 6$ kV	B	See Table 6	Pass
EFT	IEC 61000-4-4	$\pm 2$ kV	B	See Table 7	Pass
Surge	IEC 61000-4-5	$\pm 2$ kV	B	See Table 8	Pass

表 4. 性能基準

性能基準	説明
A	メーカーが仕様規定する誤差範囲内での正常動作。
B	一時的な機能喪失または性能低下。これは障害が除去されると消失します。試験対象の装置は、オペレータが介入することなく正常動作に回復します。
C	一時的な機能喪失または性能低下。性能の回復には、手動での再起動、電源オフ、電源オンなどのオペレータの介入が必要です。
D	回復不能な機能喪失または性能低下。ハードウェアやソフトウェアに恒久的な損傷が発生したり、データが喪失したりします。

## プリント回路基板

AD4111 EMC テスト・ボードは、最適な ADC 性能をもたらすよう設計されているものの、EMC と EMI の試験向けには最適化されていない標準の AD4111 評価用ボード、EVAL-AD4111SDZ とは設計が異なります。

AD4111 EMC テスト・ボードは FR4 の 4 層 PCB 上に構成されています。PCB の層構成を図 4 に示します。1 次側と 2 次側にはいずれも 0.5oz の銅薄膜が形成されています。基板のシステム側 (LDO、マイクロプロセッサ、ADuM5411 の 1 次側、UART から USB へのトランシーバーで構成) が 4 層構造の上に配置されます。内部の層は 1oz の銅の上に形成されています。これらの層は、基板の一部として最適な EMC および EMI 性能を発揮するよう設計されているもので、AD4111 が直接実装されるわけではありません。

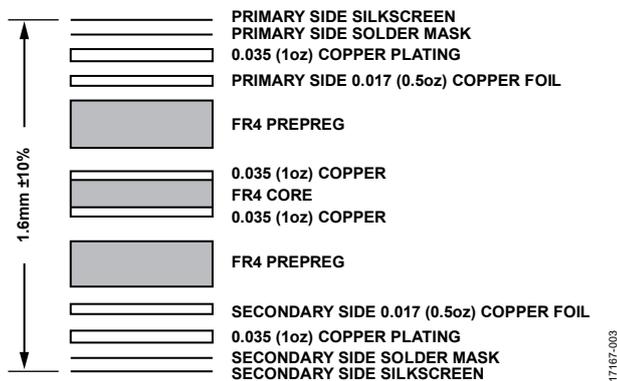


図 4. PCB の層構成

AD4111 とそのペリフェラル全体を含む EMC 基板のフィールド側は、グラウンド・プレーンと電源プレーン用の内部の層がすべてエッチング除去された、疑似 2 層構造の上に配置されています。これらの層は、AD4111 が低コストの 2 層 PCB 上で仕様規定された機能と EMC および EMI 性能を発揮できることを実証するために設計されているものです。

### 部品配置とレイアウト時の考慮事項

AD4111 は分解能が高くノイズ・レベルが低いため、デカップリング、グラウンド接続、レイアウトについては注意が必要です。アナログ・セクションとデジタル・セクションは EMC 基板上で分離され、基板の特定の領域に限定されています。AD4111 は、グラウンド・プレーンの上に配置され、3 層以上のプリント回路

基板が使用されている場合、そこには AVSS ピンと DGND ピンもハンダ処理されています。AD4111 のデジタル・インターフェース側はアイソレータに近接して配置され、アナログ側は電圧と電流の入力端子ブロックに面しています。電源は、0.1 $\mu$ F のコンデンサを 10nF のコンデンサと並列に配線してデカップリングされています。どちらも低等価直列抵抗 (ESR) のセラミック・コンデンサが表面実装されたもので、AD4111 の電源ピンに可能な限り近づけて配置します。

ダンピング抵抗は、相補型金属酸化物半導体 (CMOS) のスイッチ・オンとスイッチ・オフに起因するデジタル・ラインの数十  $\Omega$  から数百  $\Omega$  への電気的なトランジェントを減衰し、EMI を抑制するのに効果的です。また、この抵抗によって、シリアル・ペリフェラル・インターフェース (SPI) にフェライト・ビーズを追加することによるリングングを抑制することもできます。

放射エミッション性能を改善するには、ADuM5411 のデータシートに記載されている推奨事項に従ってください。V<sub>DD1</sub> ピンと GND<sub>1</sub> ピン、V<sub>DDP</sub> ピンと GND<sub>1</sub> ピン、V<sub>ISO</sub> と GND<sub>ISO</sub> ピン、V<sub>DD2</sub> ピンと GND<sub>ISO</sub> の間に少なくとも 2 個のコンデンサを並列に配置して、ノイズとリップルを抑制します。0.1 $\mu$ F と 10nF の低 ESR セラミック・コンデンサを使用すると、高周波数で低インダクタンスとなります。V<sub>DDP</sub> と V<sub>ISO</sub> で 10 $\mu$ F のコンデンサを使用すると、リップルを抑制して適切な調整ができます。これらのコンデンサは、ADuM5411 の電源ピンに可能な限り近づけて配置し、PCB パターンも最小の長さとなるようにします。

フェライト・ビーズ (BLM15HD182SN1D) が V<sub>ISO</sub> ピンと GND<sub>ISO</sub> ピンに直列に表面実装されており、これにより高周波電流に対するインピーダンスが増加します。フェライト・ビーズは 100MHz~1GHz で 2k $\Omega$  (代表値) のインピーダンスを持ち、これによって、125MHz の 1 次側スイッチング周波数と 250MHz の 2 次側整流周波数および高調波の放射を抑制することができます。V<sub>ISO</sub> は短いパターンを介して V<sub>DD2</sub> に直接給電します。GND<sub>ISO</sub> (ピン 23) は他の GND<sub>ISO</sub> ピンに内部で接続されています。ピン 23 は、図 5 に示すように、バイパス・コンデンサにのみ配線されています。

最適性能のためには、高電圧表面実装 (SMT) コンデンサを GND<sub>1</sub> (ピン 12) と GND<sub>ISO</sub> (ピン 13) の間に直接接続します。放射量を更に減らすには、AN-0971 アプリケーション・ノートで説明されているように、PCB スティッチング容量を組み込むこともできます。

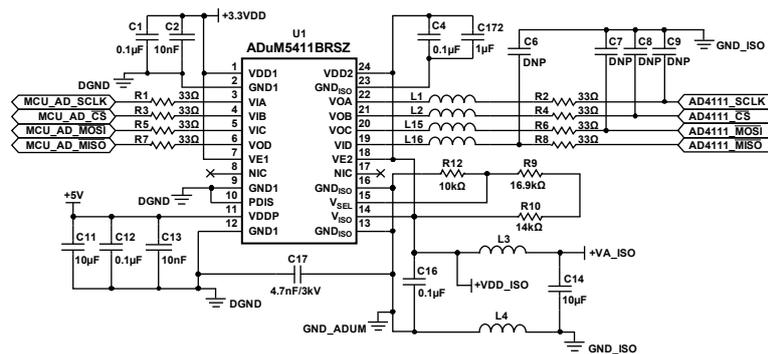


図 5. ADuM5411 のバイパスとペリフェラル

## 他の部品の考慮事項

AD4111 EMC テスト・ボードは、フットプリントが C0402 で、0.1 $\mu$ F、50V/X5R、10%の低 ESR セラミック・コンデンサを、基板のフィールド側のデカップリング・コンデンサに用いています。低 ESR コンデンサを使用する場合、性能、ディレーティング、コスト、省スペース化を考慮するに際してリードオフが伴います。システムのマイクロプロセッサ側のデカップリング・コンデンサには、フットプリントが C0603 の、0.1 $\mu$ F、50V/X7R、10%の低 ESR のセラミック・コンデンサを使用しています。

## 電圧源保護

EMC および EMI の評価と実証の対象は、AD4111 およびそのファミリ・デバイスに限定されます。AD4111 テスト・ボードの電源回路は、基板の機能に必要な電圧を供給します。これらの電源回路は、工業用オートメーションの制御システムの電源モジュールやバックプレーン電源の堅牢性に見合うものとなるように設計されているわけではありません。それ自体は、基本的な保護機能が実装されているだけです。1nF のコンデンサが電力入力端子の各ピンに隣接して配置され、保護接地ピンに接続されて、トランジェント・エネルギーを 3.3nF/3kV のコンデンサを通じてアース・グラウンドに放電させることができます。4.7M $\Omega$  の抵抗によって、保護接地に蓄積されている可能性のあるエネルギーがアースに流出されます。電源入力の誤配線から保護するためにダイオードが挿入されています。SMBJ26CA 電圧トランジェント圧縮 (TVS) ダイオードがトランジェントをクランプし、24V (公称値) 以上になるのを防止します。下流回路から漏出する放射は、コモンモード・インダクタによってブロックされます。インダクタ後段の 2 つめの SMBJ26CA TVS ダイオードは、トランジェントを更にクランプします。

## ESD 保護

EMC テスト・ボードには適切な ESD 保護回路があることが必要です。保護回路は、電流制限抵抗、トランジェント電圧クランプ、トランジェント・エネルギーを分流するコンデンサによって構成されます。

AD4111 の電圧入力チャンネルでは EMC と EMI 用に、180 $\Omega$  の抵抗、4.7nF のコンデンサ、TVS デバイスの少なくとも 3 つの部品が必須です。AD4111 の VINx ピンと端子ブロックの間のパターンに配置された 180 $\Omega$  の抵抗は、4.7nF/50 V C0G の GRT155R71H472KE01D コンデンサと組み合わせることで、ADC のアンチエイリアス・フィルタとして機能します。この RC フィルタによって、EMC テスト中の RF 干渉が減衰されます。AD4111 の VINx ピンは約 1M $\Omega$  の抵抗に内部接続されているため、180 $\Omega$  の直列抵抗は、TVS によってクランプされる高電圧から AD4111 を絶縁するための補助的な機能を持ちます。TVS デバイスは、EMC 事象発生時に基板上的電気的なトランジェントをクランプするのに必須のものです。SMAJ33CA-TR が、AD4111 と入力端子ブロックの間に挿入されています。TVS ピンは、短く太いパターンで VINx 端子ピンに配線されています。

AD4111 の電流入力チャンネルでは EMC と EMI 用に、PTC リセッタブル・ヒューズ、180 $\Omega$  の抵抗、TVS デバイス、GRM1555C1H471JA01D コンデンサの少なくとも 4 つの部品が必須です。ヒューズは電流が 150mA を超えた場合に作動します。180 $\Omega$  の抵抗は AD4111 の IINx ピンと端子ブロックの間のパターン上にあり、IINx の入力抵抗が約 60 $\Omega$  であるため、デバイスを流し出す過渡電流を制限するのに効果的です。TVS デバイスは、EMC 事象発生時に基板上的電気的なトランジェントをクランプするのに必須のものです。SMA6J10A-TR が、入力端子ブロックと電流制限抵抗の間に挿入されています。TVS ピンは、短く太いパターンで VINx 端子ピンに配線されています。470pF/50V C0G の GRM1555C1H471JA01D コンデンサが電流制限抵抗の後段に配置されており、少量の高周波トランジェントを絶縁グラウンドに分流します。

# AD4111 EMC テスト・ボードの EMC および EMI 測定結果

## 伝導耐性

IEC 61000-4-6 に従い、被試験機器 (EUT) は、グラウンド・リファレンス・プレーン上 0.1m の高さにある絶縁支持体の上に置きます。EUT から出る配線はすべて、グラウンド・リファレンス・プレーン上の少なくとも 30mm の高さで保持します。カップリング/デカップリング・ネットワーク (CDN)、KEMA801A を用いて干渉を加えます。ケーブルは減衰クランプ、KEMA801A でデカップリングされます。周波数の掃引範囲は、150kHz~80MHz (10V/m) で、1kHz のサイン波で 80% の振幅変調の妨害信号を使用します。ステップの大きさは、初めは開始周波数の 1% で、その後はその直前の周波数の 1% ずつインクリメントしながら掃引します。振幅変調された搬送波の保持時間は、周波数ごとにそれぞれ 1 秒です。

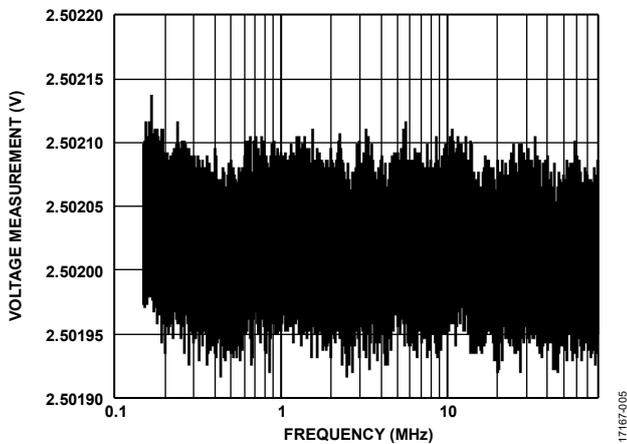


図 6. 電圧測定値と周波数の関係、VIN2~VIN3 (10V/m)

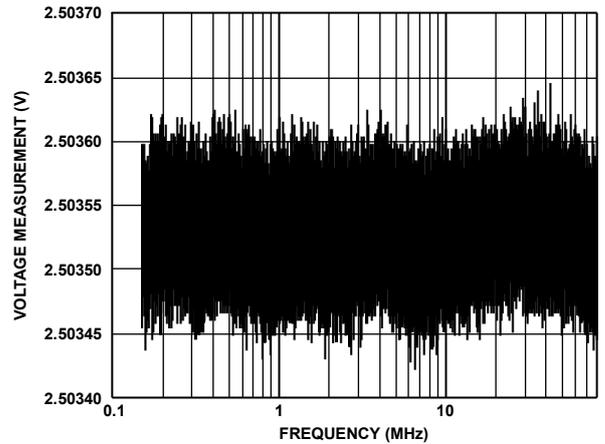


図 7. 電圧測定値と周波数の関係、VIN7 (10V/m)

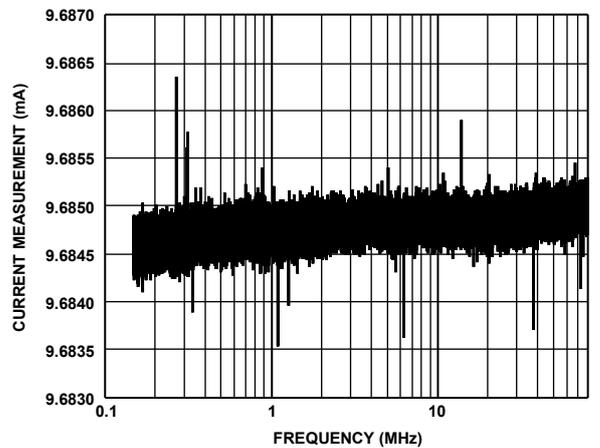


図 8. 電流測定値と周波数の関係、IIN3 (10V/m)

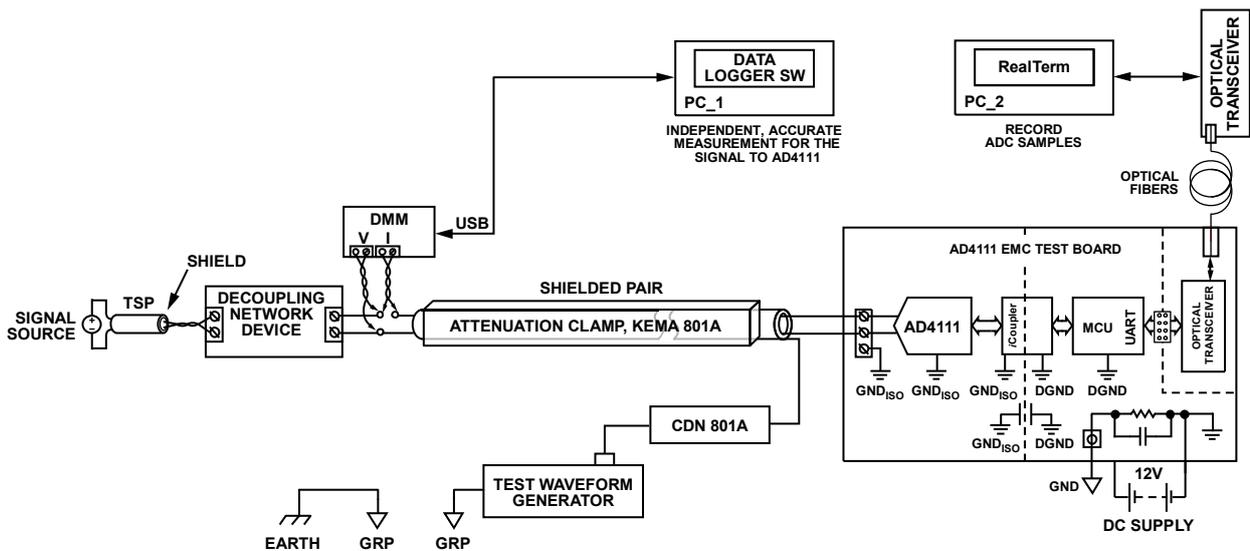


図 9. IEC 61000-4-6 試験用セットアップの接続図



図 10. IEC 61000-4-6 試験用セットアップの写真

表 5. 61000-4-6 の試験レベルと結果

Input Mode	Average	During Zap		Deviation	Pass or Fail
		Min	Max		
VIN2 to VIN3	2.502017	2.501917	2.502137	-10 ppm, 12 ppm × full scale (FS)	Pass, Criterion A
VIN7	2.503531	2.503422	2.503645	-4 ppm, 5 ppm × FS	Pass, Criterion A
IIN3	9.684782	9.681976	9.688193	-14 ppm, 18 ppm × full scale range (FSR)	Pass, Criterion A

### ESD 耐性

IEC 61000-4-2 に従い、試験用セットアップは、グラウンド・リファレンス・プレーン上 0.8m の高さの非導電性テーブルに設置されています。1.6m × 0.8m の水平結合版 (HCP) がそのテーブルに置かれます。EUT とケーブルは、厚さ 0.5mm の絶縁マットで結合板と絶縁されています。AD4111 の入力端子ブロックの VINx と IINx のネジに接触放電が印加されます。EUT は、各定格で少なくとも 20 回 (正負それぞれの極性で各 10 回) の放電を受けます。放電は 1 秒に 1 回の割合で行われます。

補助装置などの高精度信号は本質的に電圧源なので、測定ループの部品パラメータがイミュニティ試験中にドリフトすることによって、AD4111 の電流モードでの測定値が変動する可能性があります。電流入力チャンネルの場合、2.5V のリファレンス電圧によって約 10mA の DC 電流が生成されます。この特性は、測定の絶対値ではなく、AD4111 の読出し値とマルチメータの読出し値の差で判断できます。同じことは、EFT とサージ試験にも当てはまります。

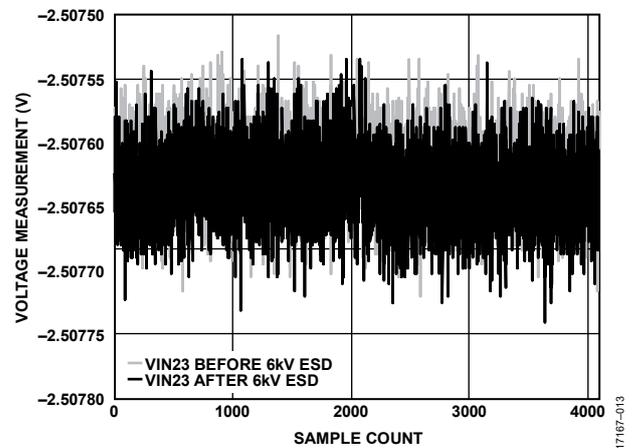


図 11. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2~VIN3 (6kV ESD 前後の比較)

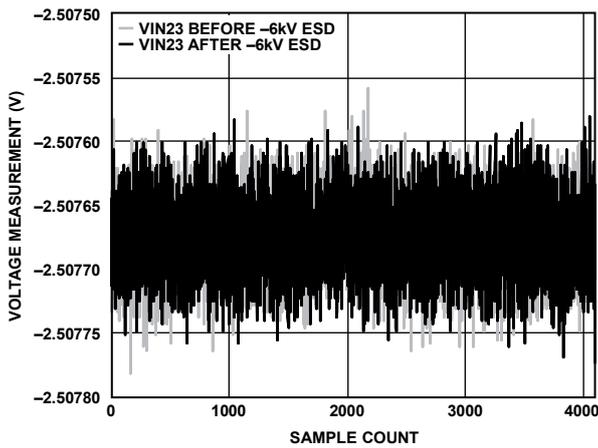


図 12. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2～VIN3 (-6kV ESD 前後の比較)

17167-016

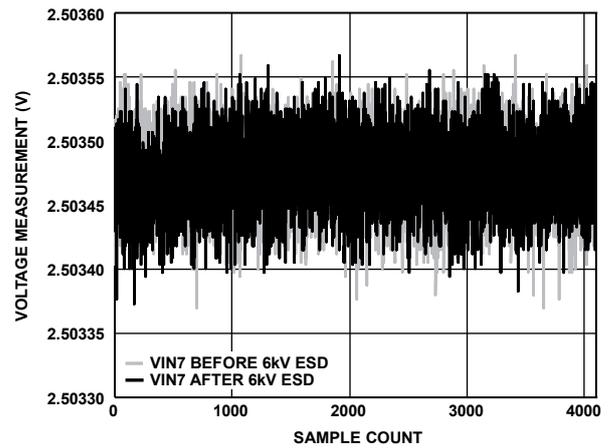


図 15. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (6kV ESD 前後の比較)

17167-015

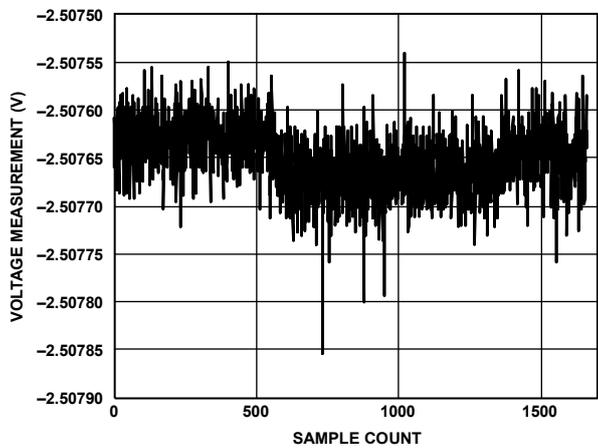


図 13. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2～VIN3 (6kV ESD 中)

17167-014

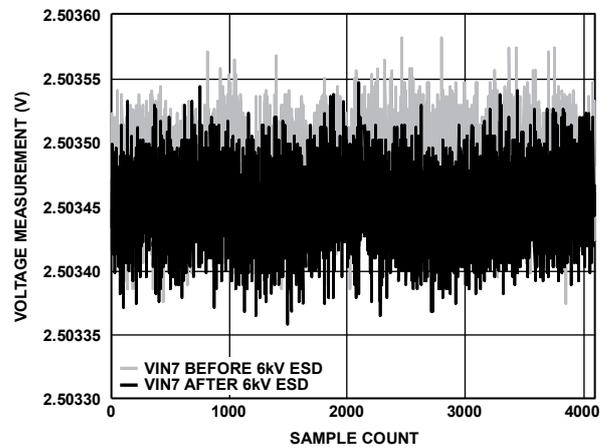


図 16. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (-6kV ESD 前後の比較)

17167-018

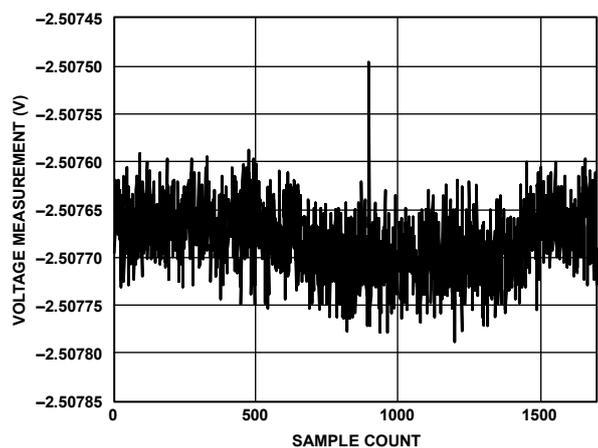


図 14. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2～VIN3 (-6kV ESD 中)

17167-017

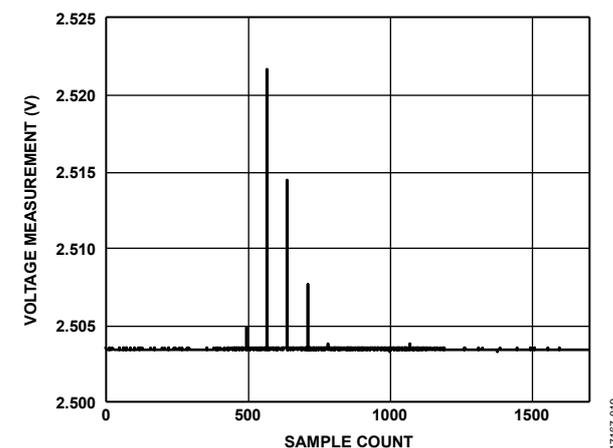
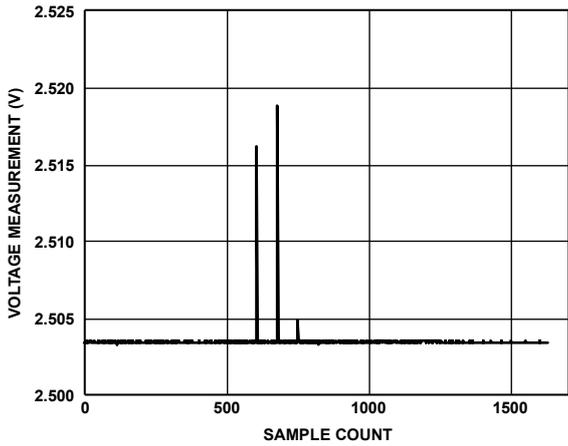


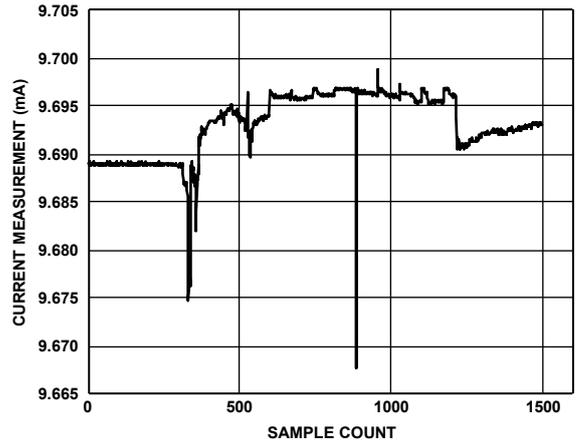
図 17. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (6kV ESD 中)

17167-019



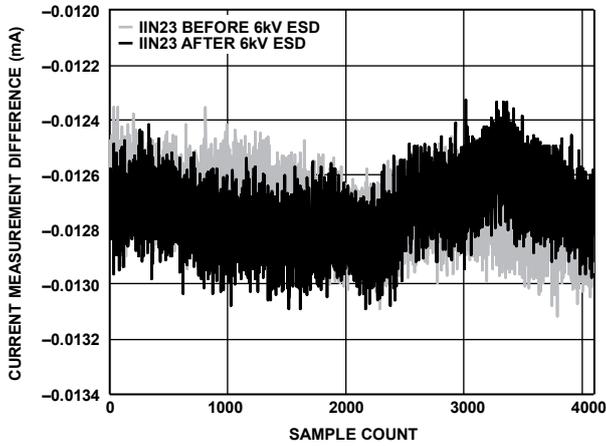
17167-022

図 18. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (-6kV ESD 中)



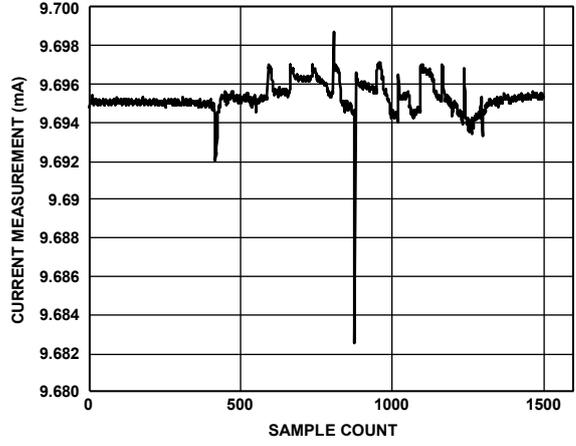
17167-021

図 21. 電流測定値とサンプリング数の関係、IIN3 (6kV ESD 中)



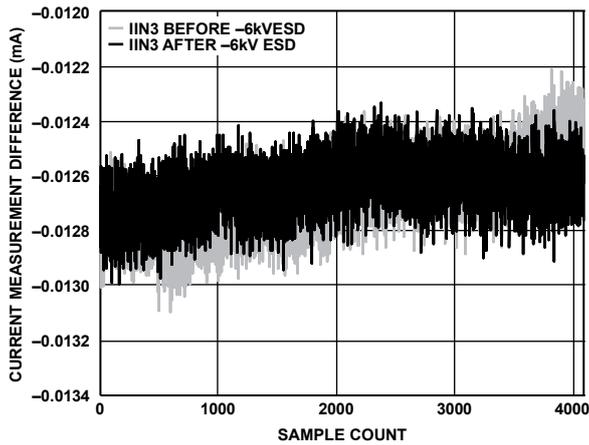
17167-020

図 19. 電流測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  (6kV ESD 前後の比較)



17167-024

図 22. 電流測定値とサンプリング数の関係、IIN3 (-6kV ESD 中)



17167-023

図 20. 測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  (-6kV ESD 前後の比較)

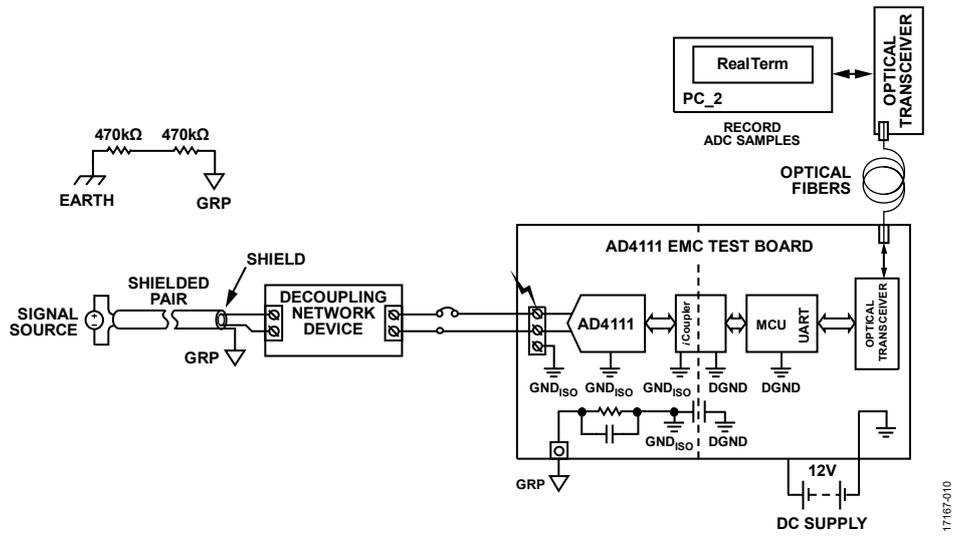


図 23. IEC 61000-4-2 試験用セットアップの接続図

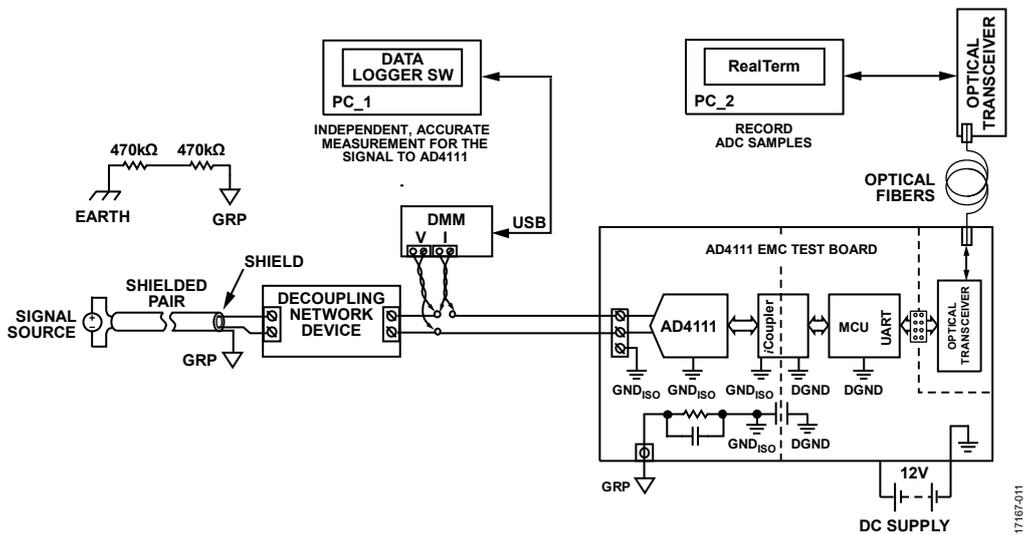


図 24. IEC 61000-4-2 試験用セットアップ、擾乱前後の測定

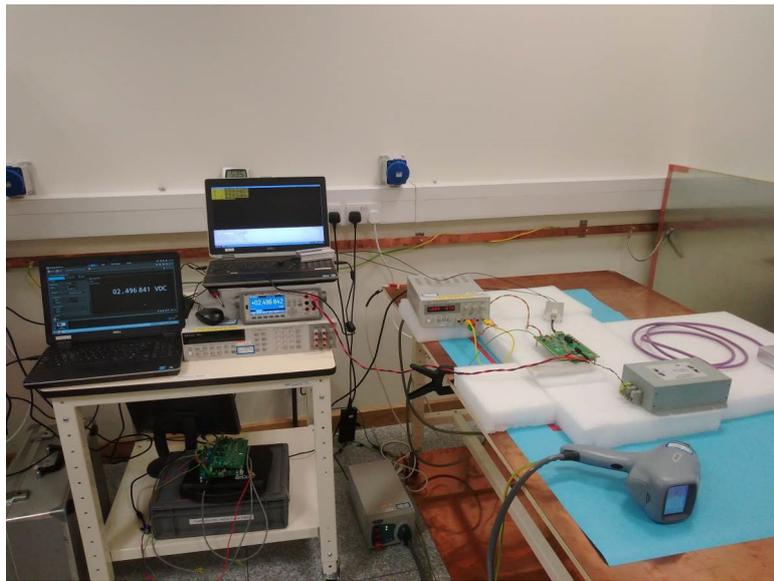


図 25. IEC 61000-4-2 試験用セットアップの写真

表 6. IEC 61000-4-2 の試験レベルと結果 (±6kV の接触 ESD 前後)

Input Mode	Zap Point	Test Level (kV)	Before Zap	After Zap	Deviation (ppm)	Pass or Fail
Differential Voltage	VIN2 to VIN3	6	-2.507621 V	-2.507634 V	-5	Pass, Criterion A
		-6	-2.507673 V	-2.507674 V	-0.4	Pass, Criterion A
Single-Ended Voltage	VIN7	6	2.503477 V	2.503476 V	-0.5	Pass, Criterion B
		-6	2.503480 V	2.503452 V	-11	Pass, Criterion B
Current	ΔIIN3	6	-12.731 μA	-12.734 μA	-0.4	Pass, Criterion B
		-6	-12.669 μA	-12.641 μA	3	Pass, Criterion B

表 7. IEC 61000-4-2 の試験結果 (±6kV の接触 ESD 中)

Input Mode	Zap Point	Test Level (kV)	Before Zap (V)	During Zap (V)		Deviation
				Min	Max	
Differential Voltage	VIN2 to VIN3	6	-2.507621	-2.507854	-2.507541	-32 ppm, 93 ppm
		-6	-2.507673	-2.507788	-2.507496	-11 ppm, 18 ppm
Single-Ended Voltage	VIN7	6	2.503477	2.503362	2.521655	-46 ppm, 0.73%
		-6	2.503480	2.503291	2.518806	-75 ppm, 0.61%
Current	ΔIIN3	6	9.597673	9.667706	9.698868	0.73%, 1.05%
		-6	9.597954	9.682500	9.698671	0.88%, 1.05%

### 電気高速トランジェントに対するイミュニティ

IEC 61000-4-4 に従い、EUT はアナログ入力ケーブルで 2000V の放電試験を受けます。正負両方の極性の放電が印加されます。EFT 発生器の同軸出力から EUT の端子までの活線の長さは、1m を超えてはなりません。各試験シーケンスの持続時間は 1 分です。トランジェント波形とバースト波形は、IEC 61000-4-4 に対応して 5ns と 50ns です。

構成には、保護接地システムに接続された少なくとも 0.25 mm の厚さの銅で覆われている、0.8m の高さの木製テーブルが含まれています。EUT は 0.1m の厚さの絶縁支持体の上に置かれます。EUT と試験室の壁とは最低 0.5m の距離が保たれています。

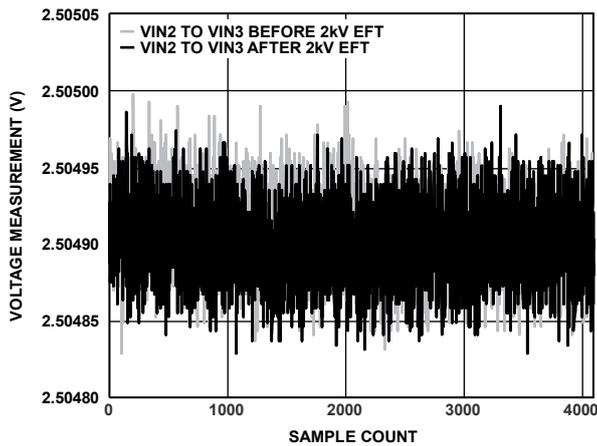


図 26. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2~VIN3 (2kV EFT 前後の比較)

17167-027

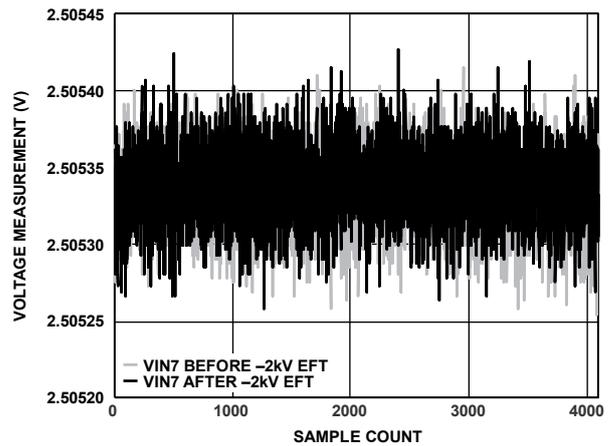


図 29. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (-2kV EFT 前後の比較)

17167-031

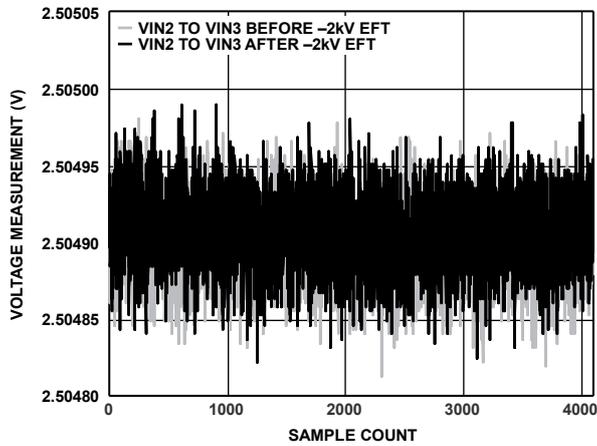


図 27. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2~VIN3 (-2kV EFT 前後の比較)

17167-030

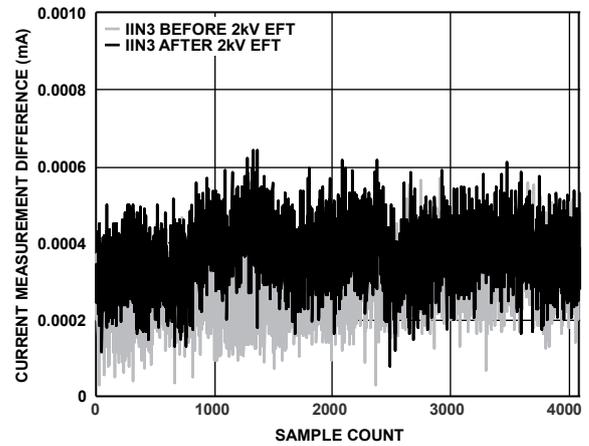


図 30. 電流測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  と DMM の差 (2kV EFT 前後の比較)

17167-029

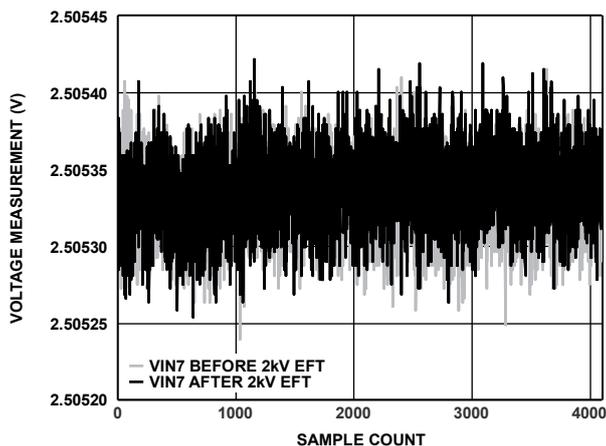


図 28. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (2kV EFT 前後の比較)

17167-028

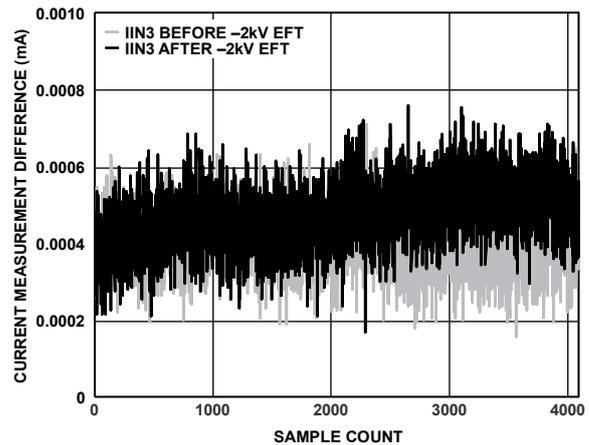


図 31. 電流測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  と DMM の差 (-2kV EFT 前後の比較)

17167-032

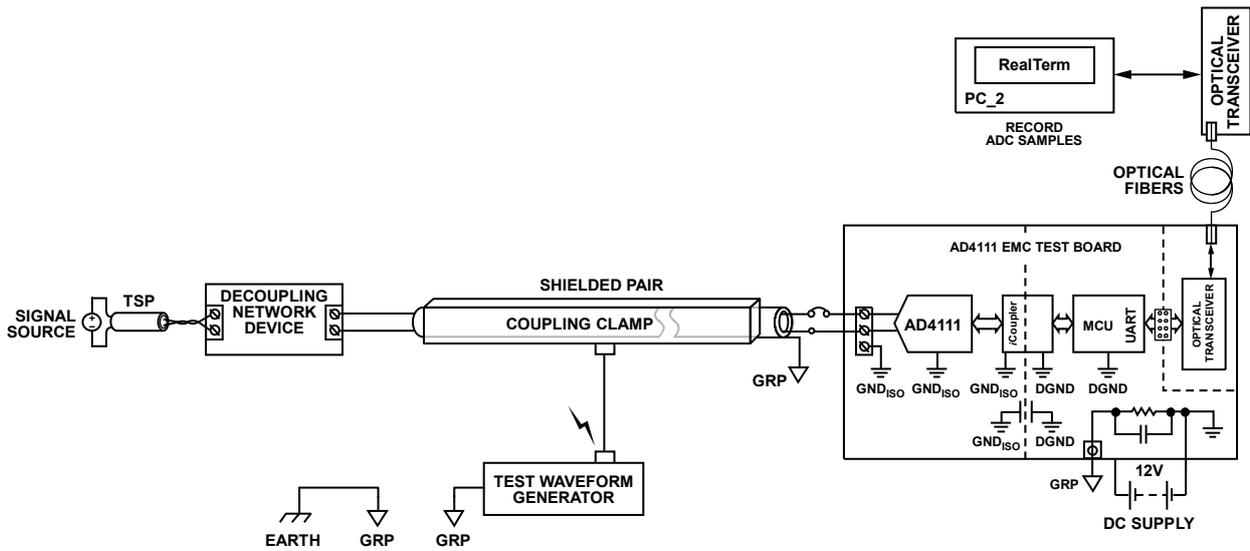


図 32. IEC 61000-4-4 試験用セットアップの接続図

17167-033

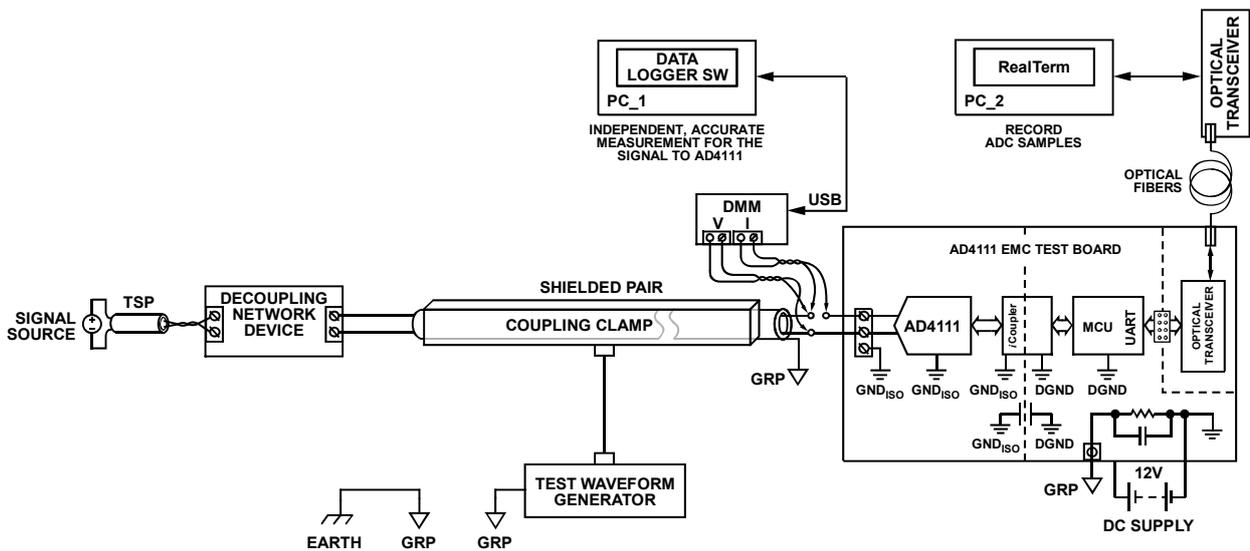


図 33. IEC 61000-4-4 試験用セットアップ、擾乱前後の測定

17167-034



図 34. IEC 61000-4 試験用セットアップの写真

表 8. 試験レベルと結果 (±2kV EFT)

Input Mode	Zap Point	Test Level (kV)	Before Zap	After Zap	Deviation (ppm)	Pass or Fail
Differential Voltage	VIN2 to VIN3	2	2.504909 V	2.504802 V	-0.1	Pass, Criterion B
		-2	2.504900 V	2.504908 V	-0.5	Pass, Criterion B
Single-Ended Voltage	VIN7	2	2.505330 V	2.505337 V	-0.2	Pass, Criterion B
		-2	2.505335 V	2.505339 V	0.2	Pass, Criterion B
Current	IIN3	2	0.292 $\mu$ A	0.373 $\mu$ A	9	Pass, Criterion B
		-2	0.404 $\mu$ A	0.474 $\mu$ A	8	Pass, Criterion B

### サージ耐性

IEC 61000-4-5 に従い、サージは、オープン・サーキット電圧が 1.2 $\mu$ s と 50 $\mu$ s の組み合わせ波形、短絡回路電流が 8 $\mu$ s と 20 $\mu$ s の組み合わせ波形です。EUT は各定格で 5 回の正のサージと 5 回の負のサージを受けます。各サージの間隔は 1 分です。サージは AD4111 の入力ケーブルに印加されます。このケーブルは EUT への非遮蔽非対称相互接続線として取り扱われます。サージは容量性カップリングを介してラインに印加されます。仕様規定されている EUT の機能条件にカップリング/デカップリング・ネットワークが影響を与えることはありません。EUT とカップリング/デカップリング・ネットワークの間の相互接続線の長さは 2m (またはそれ以下) です。

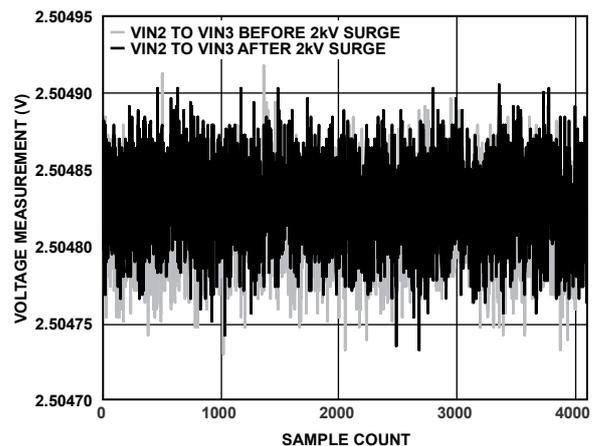
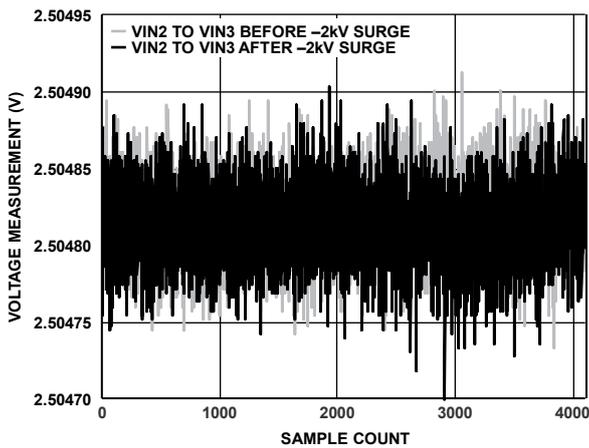
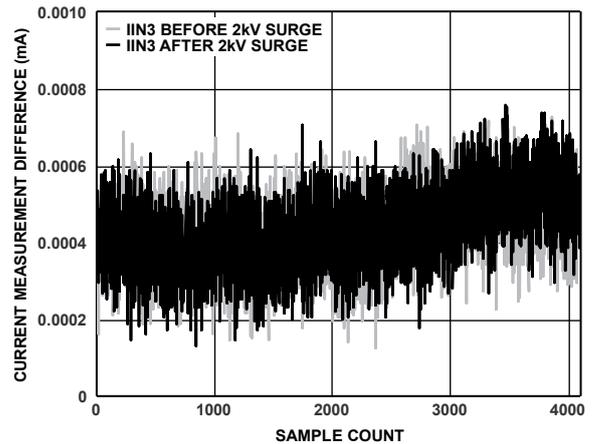


図 35. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2～VIN3 (2kV サージ前後の比較)



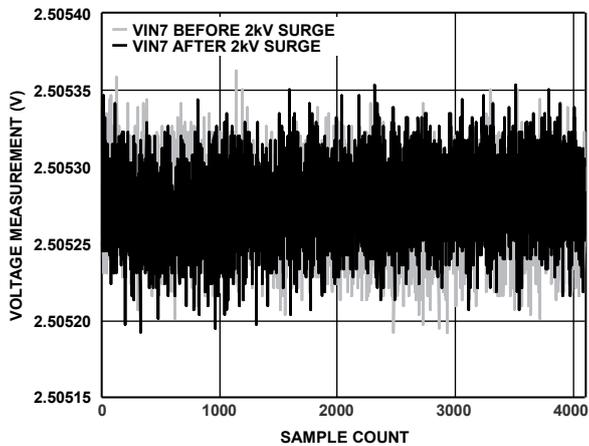
17167-039

図 36. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN2~VIN3 (-2kV サージ前後の比較)



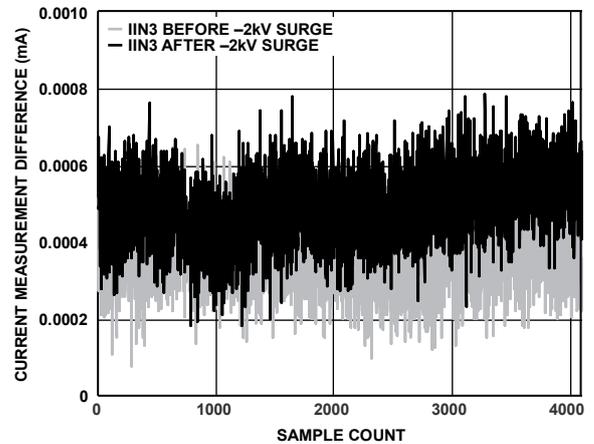
17167-038

図 39. 電流測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  と DMM の差 (2kV サージ前後の比較)



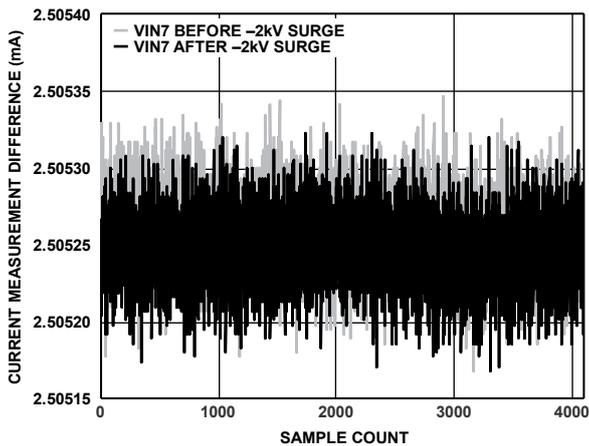
17167-037

図 37. 電圧測定値とサンプリング数の関係、VIN7 (2kV サージ前後の比較)



17167-041

図 40. 電流測定値差とサンプリング数の関係、 $\Delta IIN3$  と DMM の差 (-2kV サージ前後の比較)



17167-040

図 38. 電流測定値差とサンプリング数の関係、VIN7 (-2kV サージ前後の比較)

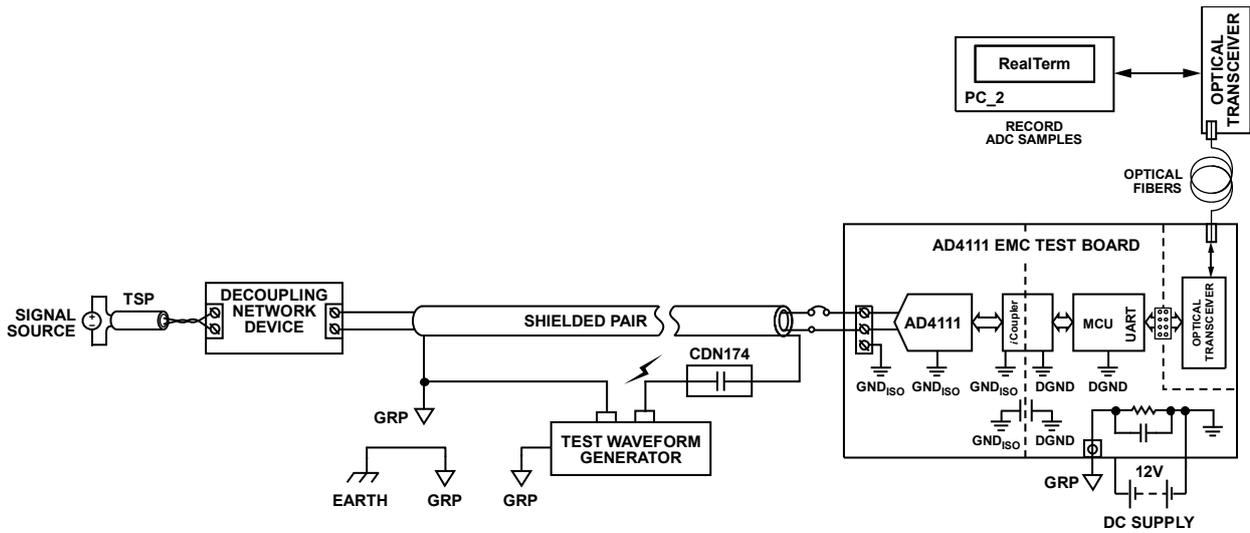


図 41. IEC 61000-4-5 試験用セットアップの接続図

17167-042

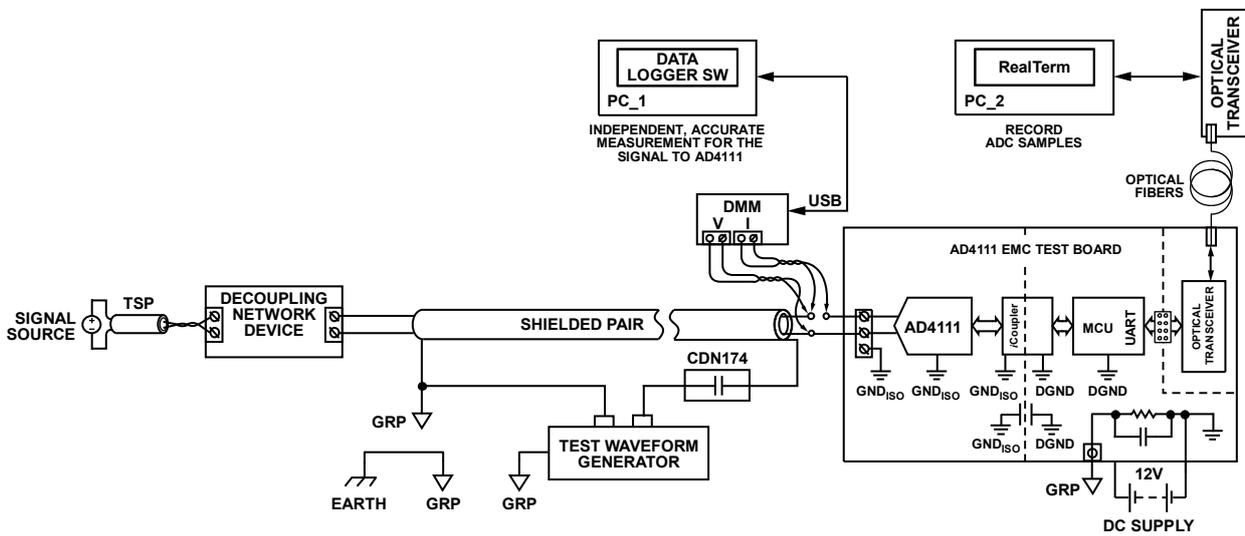


図 42. IEC 61000-4-5 試験用セットアップの接続図、擾乱前後の測定

17167-043

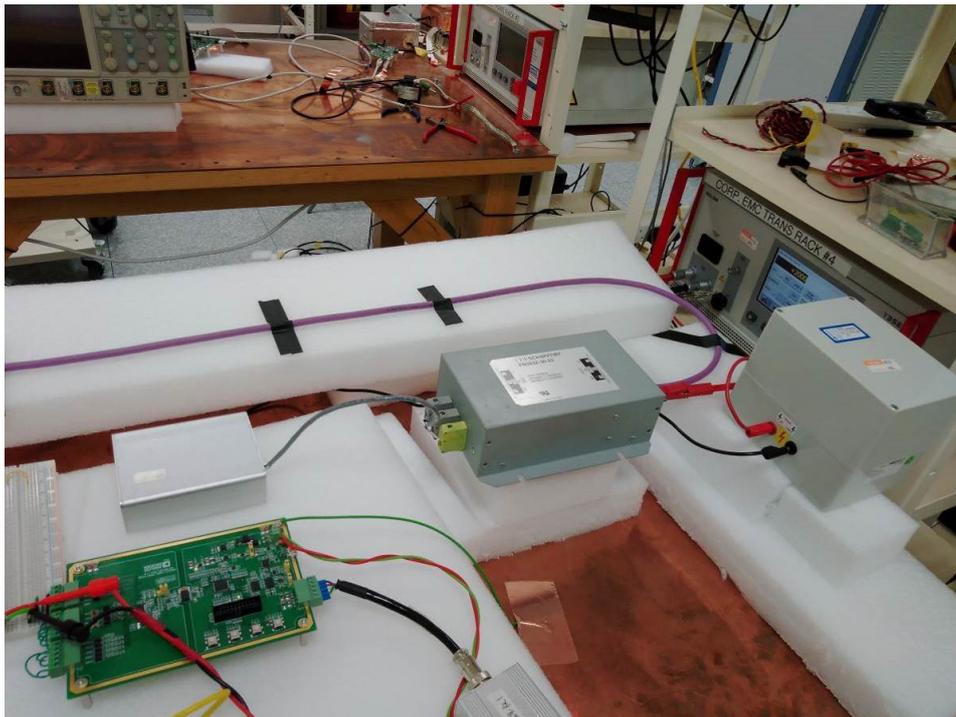


図 43. IEC 61000-4-5 試験用セットアップの写真

表 9. IEC 61000-4-5 の試験レベルと結果

Input Mode	Zap Point	Test Level (kV)	Before Zap	After Zap	Deviation (ppm)	Pass or Fail
Differential Voltage	VIN2 to VIN3	2	2.504817 V	2.504828 V	5	Pass, Criterion B
		-2	2.504820 V	2.504813 V	-3	Pass, Criterion B
Single-Ended Voltage	VIN7	2	2.505272 V	2.505276 V	2	Pass, Criterion B
		-2	2.505263 V	2.505248 V	-6	Pass, Criterion B
Current	IIN3	2	0.435 $\mu$ A	0.440 $\mu$ A	0.5	Pass, Criterion B
		-2	0.375 $\mu$ A	0.496 $\mu$ A	13	Pass, Criterion B

### 放射耐性

IEC 61000-4-3 に従い、試験は完全な電波無反射室で行います。EUT は高さ 0.8m の非導電性テーブルに置かれます。AD4111 の入力は絶縁グラウンドに短絡します。電磁界発生アンテナは EUT から 3m の距離に配置します。周波数の掃引範囲は 80MHz ~ 1000MHz で、信号は 1kHz のサイン波で 80% の振幅変調がなされています。この周波数範囲を、直前の周波数の 1% のステップ量でインクリメントしながら掃引します。各周波数の保持時間は 1 秒で、EUT の応答に必要な時間を下回ることはありません。電界強度は 10V/m です。試験は、垂直偏波と水平偏波の両方に EUT をさらして行います。AD4111 のサンプリング結果は、光絶縁データ・リンクを介して試験室外のホスト PC に送信されます。

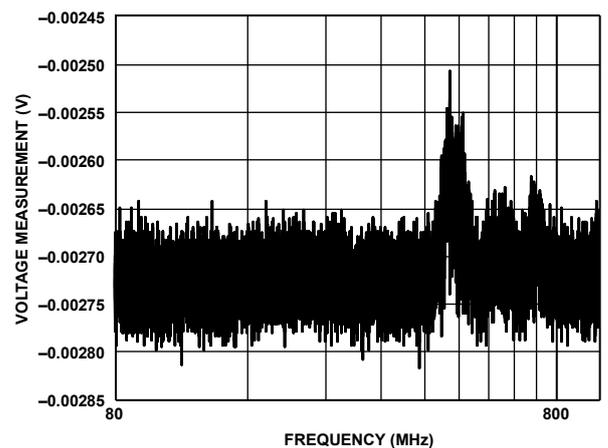


図 44. 電圧測定値と周波数の関係、VIN2~VIN3 (10V/m)、水平アンテナ

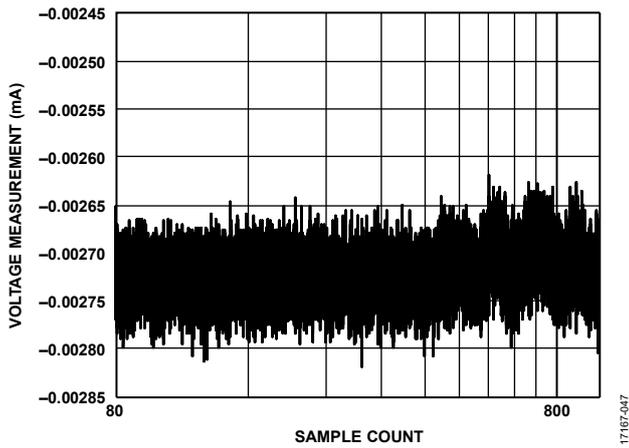


図 45. 電圧測定値と周波数の関係、VIN2~VIN3 (10V/m)、垂直アンテナ

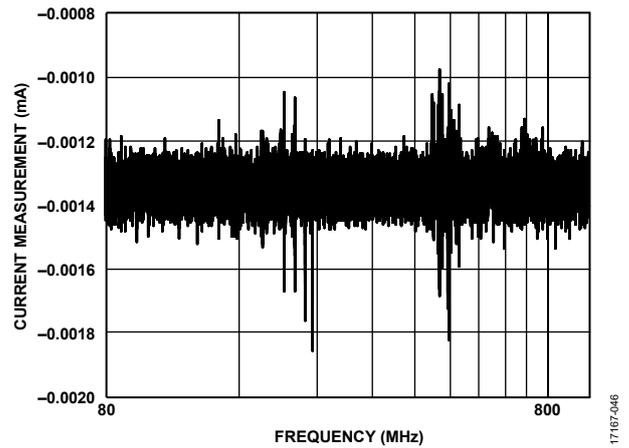


図 48. 電流測定値と周波数の関係、IIN3 (10V/m)、水平アンテナ

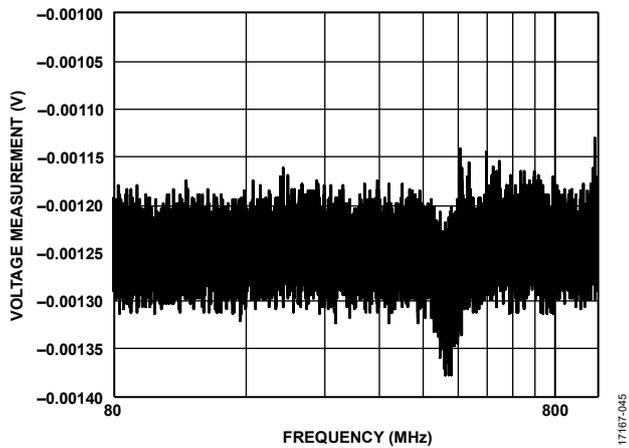


図 46. 電圧測定値と周波数の関係、VIN7 (10V/m) 水平アンテナ

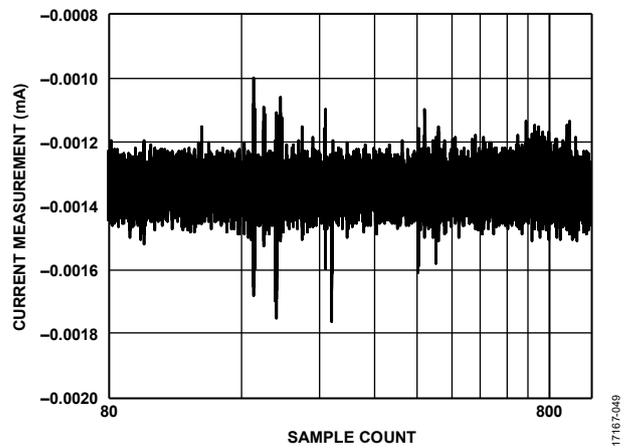


図 49. 電流測定値と周波数の関係、IIN3 (10V/m)、垂直アンテナ

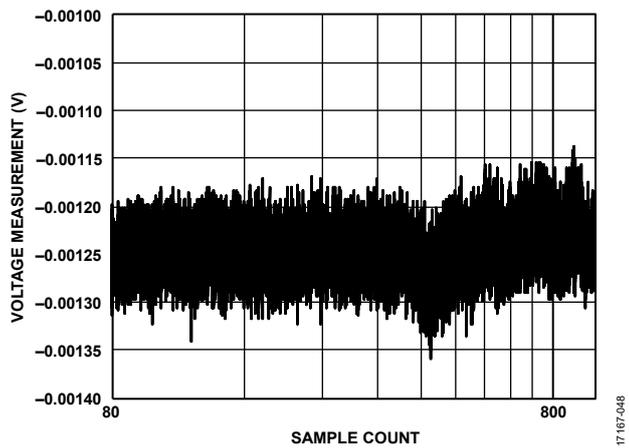
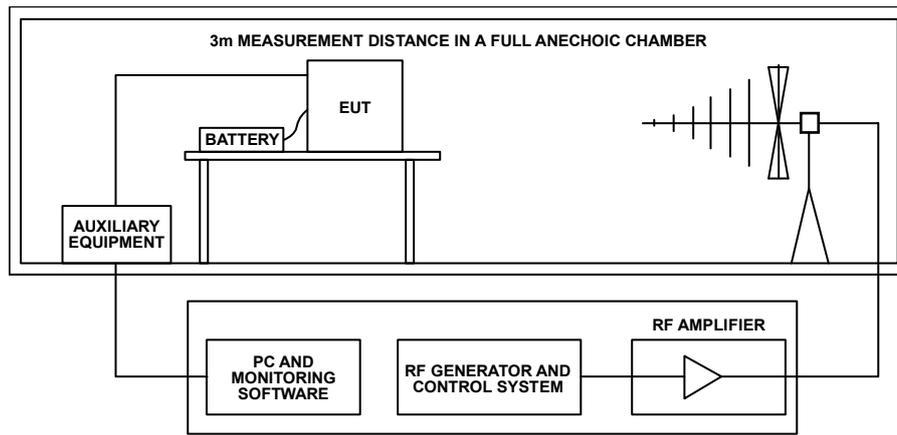


図 47. 電圧測定値と周波数の関係、VIN7 (10V/m)、垂直アンテナ



17167-150

図 50. IEC 61000-4-3 試験用セットアップの構成図



17167-151

図 51. IEC 61000-4-3 試験用セットアップの写真

表 10. IEC 61000-4-3 の試験レベルと結果 (10V/m の放射 RF イミュニティ)

Input Mode	Input Channel	Average	During Zap		Deviation (ppm)	Antenna	Pass or Fail
			Min	Max			
Differential Voltage	VIN2 to VIN3	-2.729 mV	-2.816 mV	-2.506 mV	22 × FS	Horizontal	Pass, Criterion A
		-2.728 mV	-2.819 mV	-2.620 mV	11 × FS	Vertical	Pass, Criterion A
Single-Ended Voltage	VIN7	-1.249 mV	-1.377 mV	-1.130 mV	-13 × FS	Horizontal	Pass, Criterion A
		-1.248 mV	-1.359 mV	-1.138 mV	11 × FS	Vertical	Pass, Criterion A
Current	IIN3	-1.345 μA	-1.854 μA	-0.978 μA	-25 × FSR	Horizontal	Pass, Criterion A
		-1.343 μA	-1.764 μA	-1.001 μA	-21 × FSR	Vertical	Pass, Criterion A

放射エミッション

CISPR 11 に従い、EUT は、10m の電波半無反射室に置かれたグラウンド上 0.8m の回転テーブルの上面に配置されます。テーブルは 360°回転し、放射が最大となる位置を特定します。EUT は、水平偏波または垂直偏波の位置に設定可能な干渉受信アンテナから 10m の距離を置いて配置されます。アンテナは高さ可変のアンテナ用シャフトに取り付けられています。アンテナの高さはグラウンドの上 1m~4m の範囲で可変で、電界強度の最大値を特定できます。EUT は最も厳しいケースに構成されており、アンテナは高さ 1m~4m で調整され、またテーブルは 0°~360° の範囲で回転されて、測定値が最大となる点を検出します。試験のレーダー・システムは準尖頭値検出モードに設定します。EUT は 12Vdc のバッテリー・パックで給電します。そのため、補助電源からの放射エミッションはすべて排除できます。

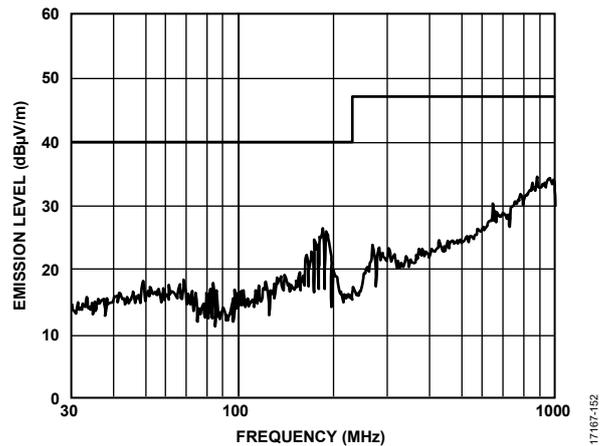


図 52. エミッション・レベルと周波数の関係、放射エミッション、垂直アンテナ偏波

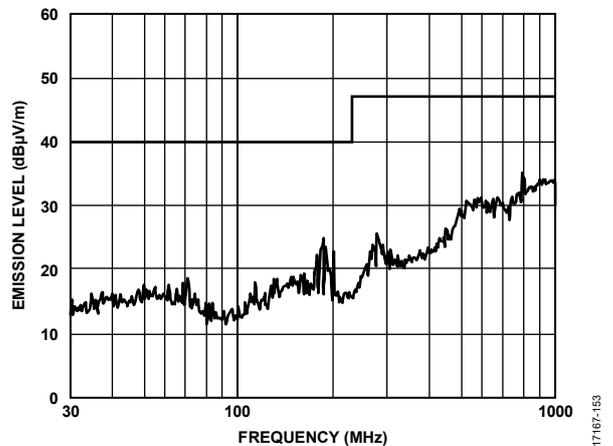


図 53. エミッション・レベルと周波数の関係、放射エミッション、水平アンテナ偏波

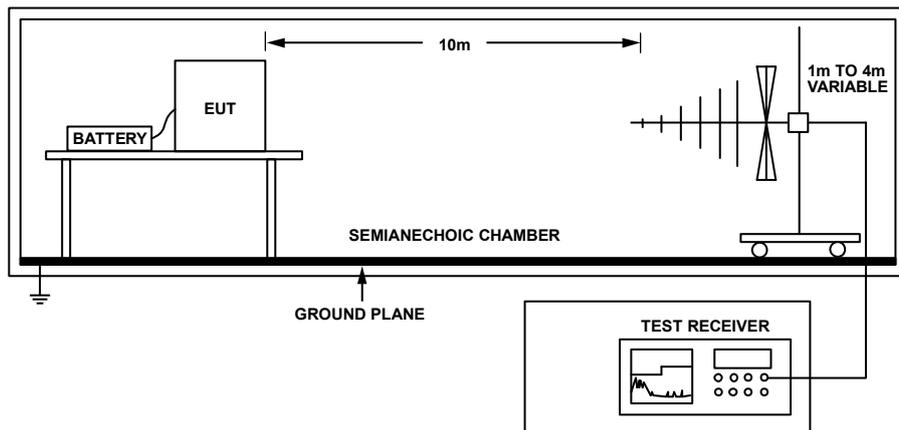


図 54. CISPR 11 試験用セットアップの構成図

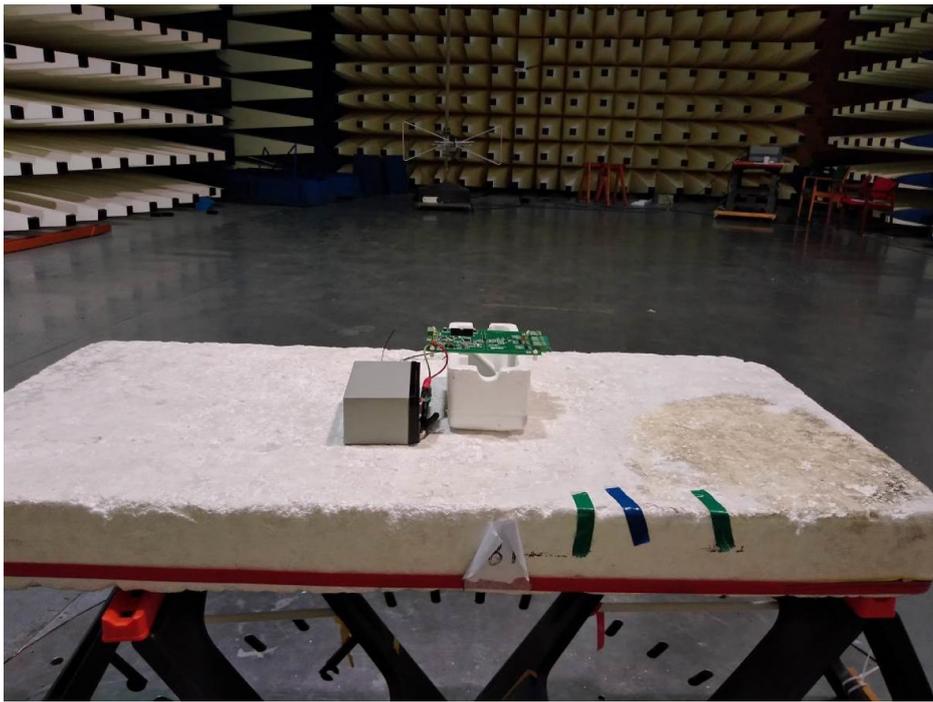


図 55. CISPR 11 試験用セットアップの写真

表 11. CISPR 11 重要な周波数の放射エミッション、垂直アンテナ偏波

Frequency (MHz)	Result (dB $\mu$ V)	Limit (dB $\mu$ V)	Margin (dB)	Height (cm)	Antenna Polarity	Conditions
140.004	14.8	40	-25.2	1	Vertical	Quasi peak
890.712	28.9	47	-18.1	1	Vertical	Quasi peak

表 12. CISPR 11 重要な周波数の放射エミッション、水平アンテナ偏波

Frequency (MHz)	Result (dB $\mu$ V)	Limit (dB $\mu$ V)	Margin (dB)	Height (cm)	Antenna Polarity	Conditions
187.216	32.5	40	-7.5	4	Horizontal	Quasi peak
201.360	25.6	40	-14.4	2.5	Horizontal	Quasi peak
276.256	29.2	47	-17.8	4	Horizontal	Quasi peak
567.672	29.7	47	-17.3	1	Horizontal	Quasi peak
788.512	36.9	47	-10.1	3	Horizontal	Quasi peak

EMC 基板の回路図とアートワーク

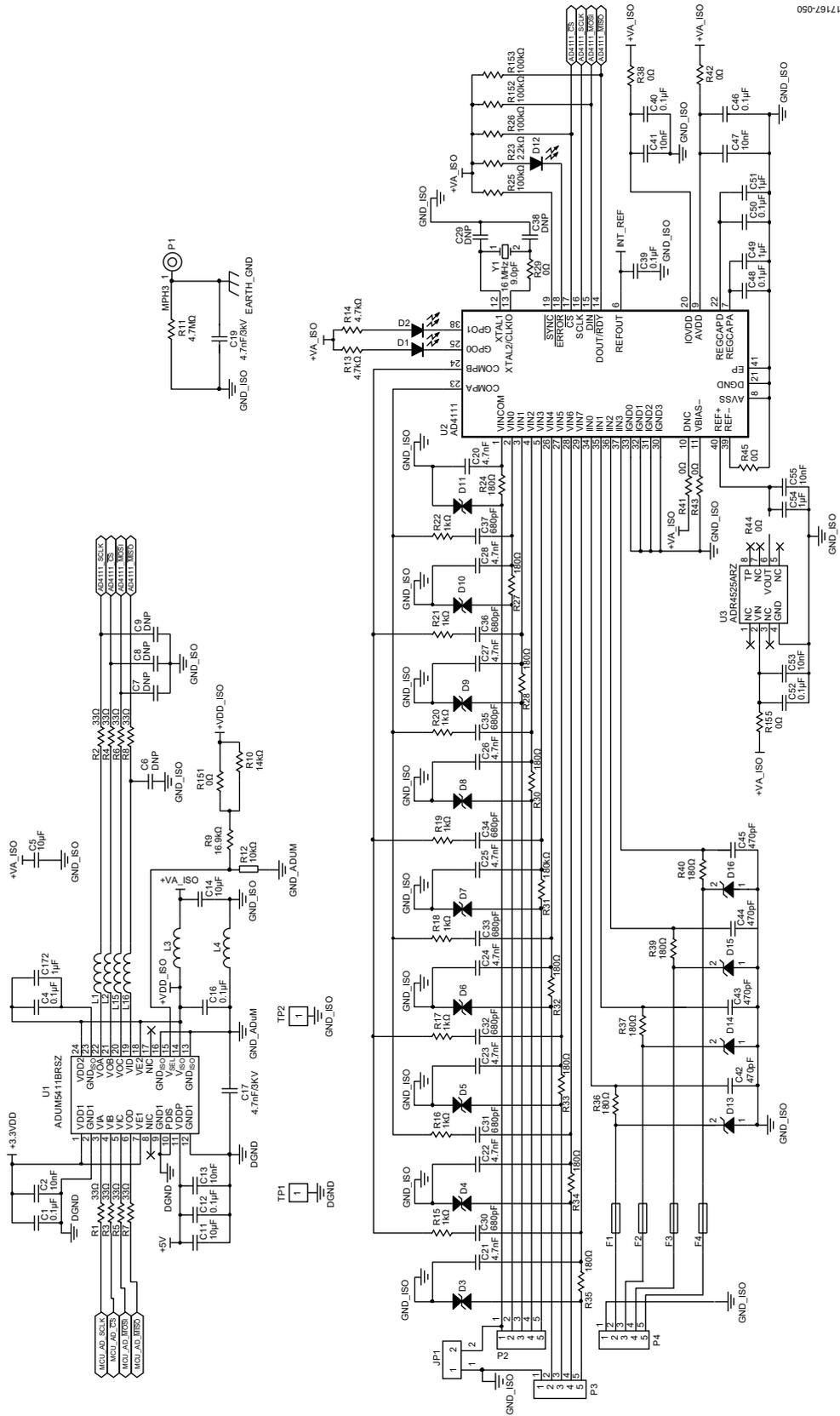
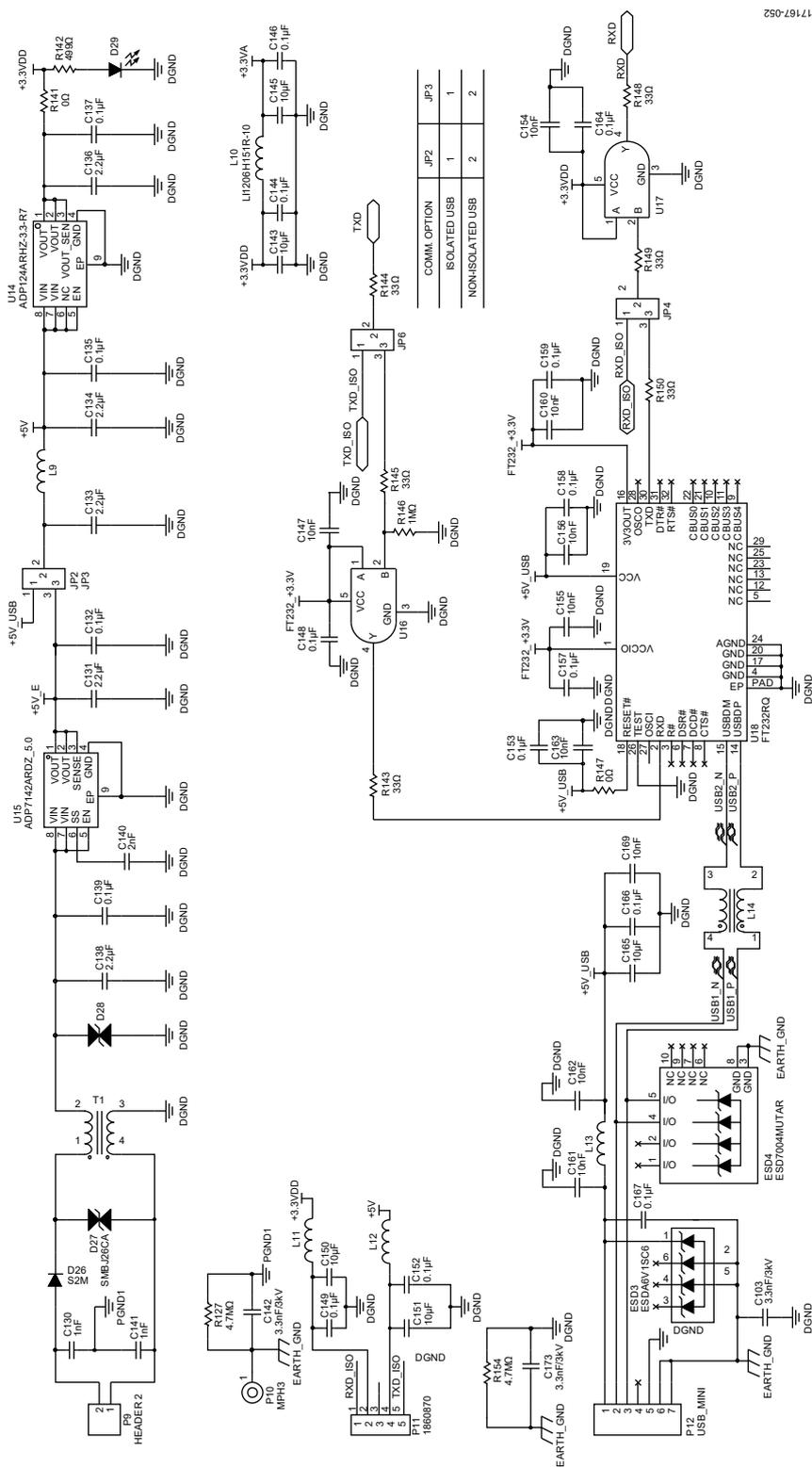


図 56. EMC 基板の回路図 (AD4111 および ADuM5411)





17167-052

図 58. EMC 基板の回路図（電源および通信インターフェース）



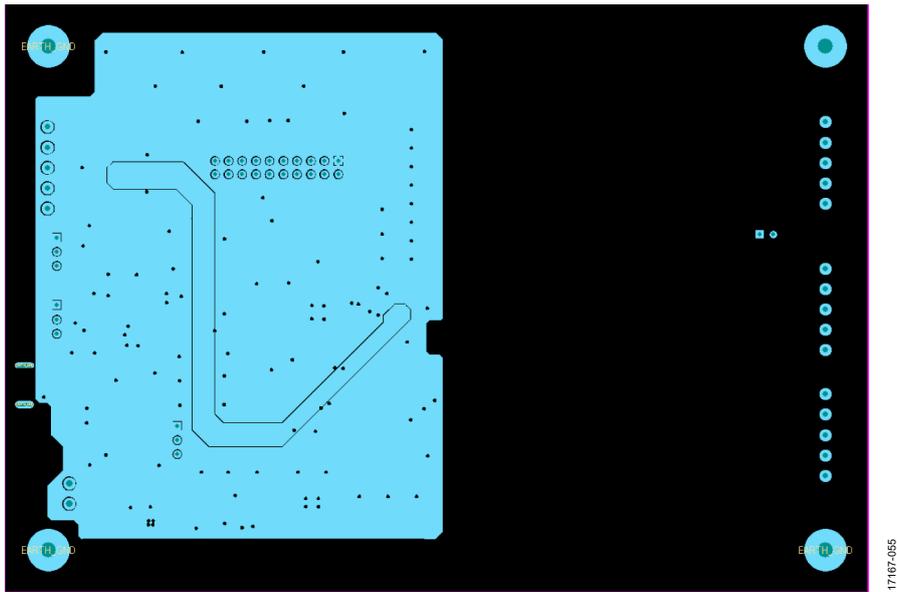


図 61. レイヤ 3 (内部電源プレーン)

17167-055

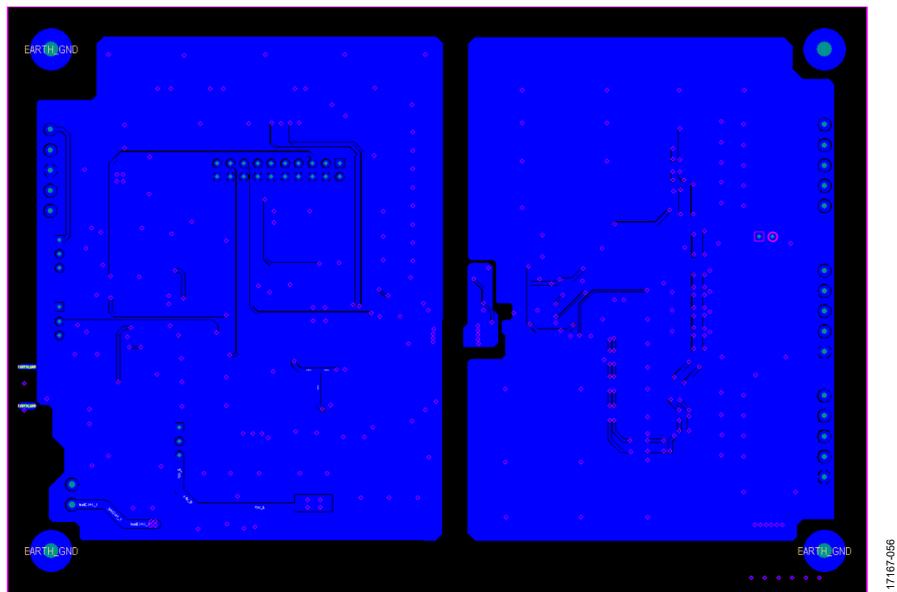


図 62. レイヤ 4 (底面)

17167-056

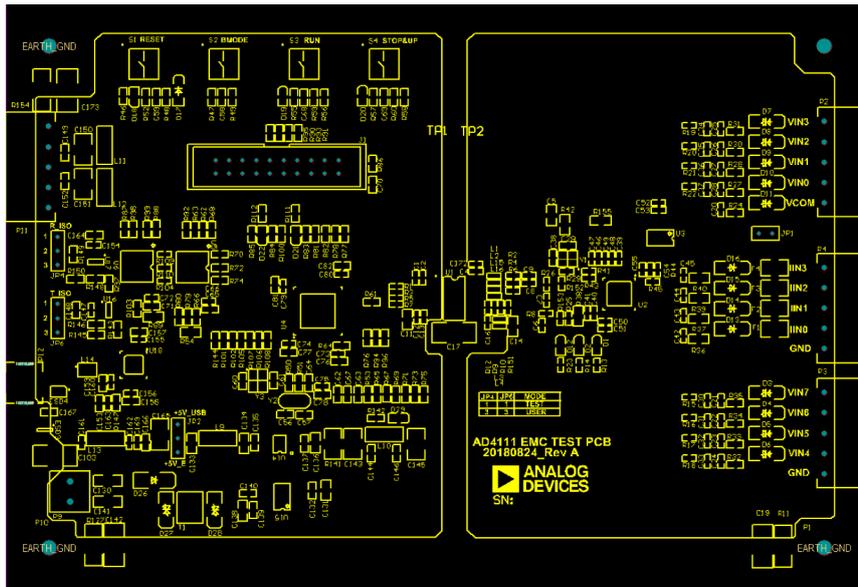


図 63. シルクスクリーン上面

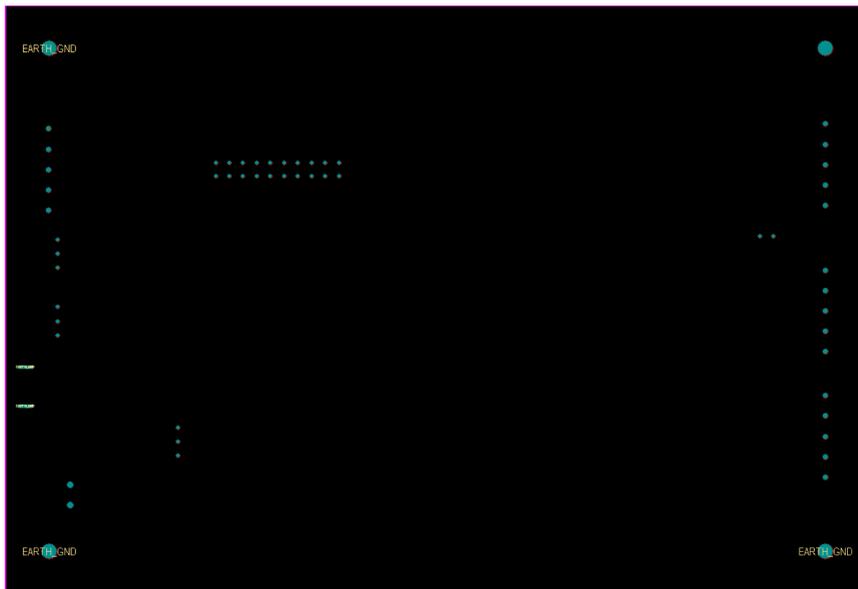


図 64. シルクスクリーン裏面

## オーダー情報

## 部品表

表 13.

Reference Designator	Part Description	Value	Part Number	Farnell Order Code	Manufacturer
C1, C4, C12, C16, C39, C40, C46, C48, C50, C52	Capacitor, ceramic, 0.1 $\mu$ F, 50 V, X5R, 0402	0.1 $\mu$ F	GRM155R61H104KE19D	FEC-2218856	Murata
C2, C3, C13, C41, C47, C53, C55, C66, C72, C73, C74, C75, C79, C80, C147, C154, C155, C156, C160, C161, C162, C163, C169	Capacitor, ceramic, 0.01 $\mu$ F, 50 V, X5R, 0402	0.01 $\mu$ F	GRM155R71H102JA01D	FEC-2470474	Murata
C5, C11, C14	Capacitor, ceramic, 10 $\mu$ F, 10 V, X7R, 0805	10 $\mu$ F	C2012X7R1A106K125AC	FEC-2346934	TDK
C6, C7, C8, C9	Capacitor, ceramic, 0402	Do not populate (DNP)	Not applicable	Not applicable	Not applicable
C17, C19	Capacitor, ceramic, 4.7 nF, 2000 V, X7R, 1812	4.7 nF	CC1812KKX7RDBB472	FEC-1284179	Yageo
C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28	Capacitor, ceramic, 4.7 nF, 50 V, C0G, 0402	4.7 nF	GRT155R71H472KE01D	FEC-2672129	Murata
C29, C38	Capacitor, ceramic, 0603	DNP	Not applicable	Not applicable	Not applicable
C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37	Capacitor, ceramic, 680 pF, 50 V, X7R, 0402	680 pF	GRT155R71H681KE01D	FEC-2672130	Murata
C42, C43, C44, C45	Capacitor, ceramic, 470 pF, 50 V, C0G, 0402	470 pF	GRM1555C1H471JA01D	FEC-8819688	Murata
C49, C51, C54, C172	Capacitor, ceramic, 1 $\mu$ F, 16 V, X5R, 0402	1 $\mu$ F	GRM155R61C105KA12D	FEC-2362093	Murata
C56, C57	Capacitor, ceramic, 12 pF, 50 V, C0G, 0603	12 pF	GRM1885C1H120JA01D	FEC-1828907	Murata
C58, C59, C60, C61	Capacitor, ceramic, 20 pF, 50 V, C0G, 0402	20 pF	MC0402N200J500CT	FEC-2627461	Multicomp
C62, C63	Capacitor, ceramic, 0.47 $\mu$ F, 50 V, X7R, 0603	0.47 $\mu$ F	UMK107B7474KA-TR	FEC-2779057	Taiyo Yuden
C64, C65, C67, C68, C69, C70, C71, C76, C77, C78, C81, C82, C132, C135, C137, C139, C144, C146, C148, C149, C152, C153, C157, C158, C159, C164, C166, C167	Capacitor, ceramic, 0.1 $\mu$ F, 50 V, X7R, 0603	0.1 $\mu$ F	MCSH18B104K500CT	FEC-1856385	Multicomp
C103, C142	Capacitor, ceramic, 3300 pF, 3 kV, X7R, 1812	3.3 nF	HV1812Y332KXHATHV	FEC-2611555	Vishay
C130, C141	Capacitor, ceramic, 1000 pF, 50 V, X7R, 1206	1 nF	C1206C102M5RACTU	FEC-2678368	KEMET
C131, C133, C134, C136, C138	Capacitor, ceramic, 2.2 $\mu$ F, 50 V, X7R, 0805	2.2 $\mu$ F	UMK212BB7225KG-T	FEC-2779058	Taiyo Yuden
C140	Capacitor, ceramic, 2000 pF, 50 V, C0G, 0603	2 nF	GRM1885C1H202JA01D	FEC-2470480	Murata
C143, C145, C150, C151, C165	Capacitor, ceramic, 10 $\mu$ F, 25 V, X7R, 1210	10 $\mu$ F	C1210C106K3RACAUTO	FEC-2665759	KEMET
C173	Capacitor, ceramic, 1812	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not Applicable

Reference Designator	Part Description	Value	Part Number	Farnell Order Code	Manufacturer
D1, D2	Light emitting diode (LED), yellow, 0603, surface mount device (SMD)	LED	TLMY1000-GS08	FEC-1328310	Vishay
D12, D21	LED, red, 0603, SMD	LED	TLMS1000-GS08	FEC-1328308	Vishay
D18, D19, D20, D22, D29	LED, green, 0603, SMD	LED	KPT-1608LVZGCK	FEC-2610409	Kingbright
D13, D14, D15, D16	TVS diode, 10 V, 19.6 V, Subminiature Version A (SMA)	TVS	SMA6J10A-TR	Digi-Key 497-5915-1-ND	STMicroelectronics
D17	Diode, general-purpose, 75 V, 150 mA, SOD123	1N4148	1N4148W-E3-08	FEC-2433353	Vishay
D26	Diode, general-purpose, 1 kV, 2 A, DO214AA	S2M	S2M	FEC-2677413	Taiwan Semiconductor
D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11	TVS diode, 33 V, 69.7 V, SMA	TVS	SMAJ33CA-TR	FEC-9802843	STMicroelectronics
D27, D28	TVS diode, 26 V, 42.1 V, DO214AA	TVS	SMBJ26CA	FEC-1749366	STMicroelectronics
D13, D14, D15, D16	TVS diode, 10 V, 19.6 V, SMA	TVS	SMA6J10A-TR	Digi-Key 497-5915-1-ND	STMicroelectronics
ESD3	TVS diode, 5.25 V, SOT23-6	ESD	ESDA6V1SC6	FEC-9802274	STMicroelectronics
ESD4	TVS diode, 5 V, 10 V, 10UDFN	ESD	ESD7004MUTAG	FEC-1961708	ON Semiconductor
F1, F2, F3, F4	Positive temperature coefficient (PTC), reset fuse, 30 V, 50 mA, 1210	Fuse	MF-USMF005-2	FEC-2309134	Bourns
J1	Connected header, 20 position, gold	Joint Action Test Group (JATG)	5103308-5	FEC-2452432	TE Connectivity
JP1	2 Pin (2x1), 0.1", header	JP2	M20-9990245	FEC-1022245	Harwin
JP2, JP4, JP6	3 Pin (3x1), 0.1", header	JP3	M20-9990345	FEC-1022248	Harwin
INSERTED TO JP1, JP2, JP4, JP6	2 Pin (2x1), 0.1", shorting block	Not applicable	M7566-05	FEC-150411	Harwin
L1, L2, L3, L4, L15, L16	Ferrite bead, 1.8 k $\Omega$ , 0402 1 line	1.8 k $\Omega$	BLM15HD182SN1D	FEC-1515786	Murata
L9, L10, L11, L12, L13	Ferrite bead, 150 $\Omega$ , 1206, 1 line	150 $\Omega$	LH1206H151R-10	FEC-2292444	Laird Technologies
L14	USB, common-mode filter, 0805	Filter	0805USB-502MLB	FEC-2458105	Coilcraft
P1, P10	Mounting hole, 3 mm diameter	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
P2, P3, P4, P11	Terminal block header, 5 position, 90°, 3.81 mm	CON5	1860870	Digi-Key 277-11004-ND	Phoenix Contact
P9	Terminal block, 2 position, 3.81 mm, PCB, green	CON2	1727010	FEC-3704579	Phoenix Contact
P12	Connected receipt, mini USB 2.0, 5 position	CON5	UX60SC-MB-5S8	FEC-2300433	Hirose (HRS)
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8	Resistor, SMD, 33 $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	33 $\Omega$	MCWR04X33R0FTL	FEC-2447161	Multicomp

Reference Designator	Part Description	Value	Part Number	Farnell Order Code	Manufacturer
R9	Resistor, SMD, 16.9 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	16.9 k $\Omega$	CRCW040216K9FKED	FEC-1652757	Vishay
R10	Resistor, SMD, 14 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	14 k $\Omega$	MCWR04X1402FTL	FEC-2447109	Multicomp
R11, R127	Resistor, SMD, 4.7 M $\Omega$ , 5%, 1/2 W, 2 kV, 2010	4.7 M $\Omega$	CHV2010-JW-475ELF	FEC-2470939	Bourns
R12	Resistor, SMD, 10 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	10 k $\Omega$	RC0402FR-0710KL	FEC-2144755	Yageo
R13, R14	Resistor, SMD, 4.7 k $\Omega$ , 1%, 1/10 W, 50 V, 0402	4.7 k $\Omega$	ERJ2GEJ472X	FEC-2059234	Panasonic
R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22	Resistor, SMD, 1 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	1 k $\Omega$	CRG0402FIK0	FEC-2331474	TE Connectivity
R23	Resistor, SMD, 2.2 k $\Omega$ , 1%, 1/10 W, 50 V, 0402	2.2 k $\Omega$	ERJ2RKF2201X	FEC-2302673	Panasonic
R24, R27, R28, R30, R31, R32, R33, R34, R35	Resistor, SMD, 180 $\Omega$ , 1%, 1/10 W, 50 V, 0603	180 $\Omega$	MCWR06X1800FTL	FEC-2447267	Multicomp
R25, R26, R152, R153	Resistor, SMD, 100 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	100 k $\Omega$	MCWR04X1003FTL	FEC-2447094	Multicomp
R29, R41, R43, R44, R45, R104, R109, R110, R151	Resistor, SMD, 0 $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0402	0 $\Omega$	CRG0402ZR	FEC-1174140	TE Connectivity
R36, R37, R39, R40	Resistor, SMD, 180 $\Omega$ , 5%, 1/2 W, 0805	180 $\Omega$	ERJ-P6WJ181V	Digi-Key P16945CT-ND	Panasonic
R38, R42, R54, R89, R155	Resistor, SMD, 0 $\Omega$ , 1%, 1/8 W, 150 V, 0805	0 $\Omega$	WR08X000 PTL	FEC-2502664	Walsin
R46, R55, R57, R111, R112, R142	Resistor, SMD, 499 $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	499 $\Omega$	MC0603SAF4990T5E	FEC-1632442	Multicomp
R47, R48, R56, R58, R63, R79, R80, R90, R91, R98	Resistor, SMD, 100 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	100 k $\Omega$	RC0603FR-13100KL	FEC-1799369	Yageo
R49, R50, R51, R52, R86, R147	Resistor, SMD, 0 $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	0 $\Omega$	MC0603SAF0000T5E	FEC-2309111	Multicomp
R53, R59, R60, R61, R62, R64, R65, R66, R67, R69, R71, R73, R75, R76, R77, R78, R81, R82, R83, R84, R85, R94, R96, R99, R100, R102, R103, R105, R106, R107, R108	Resistor, SMD, 10 k $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	10 k $\Omega$	RC0603FR-0710KL	FEC-9238603	Yageo
R68, R70, R72, R74, R87, R88, R92, R93, R95, R97, R101, R143, R144, R145, R148, R149, R150	Resistor, SMD, 33 $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	33 $\Omega$	MCWR06X33R0FTL	FEC-2447344	Multicomp
R141	Resistor, SMD, 0 $\Omega$ , 1%, 1/2 W, 200 V, 1210	0 $\Omega$	CRCW12100000ZSTA	FEC-1653183	Vishay
R146	Resistor, SMD, 1 M $\Omega$ , 1%, 1/16 W, 50 V, 0603	1 M $\Omega$	MCWR06X1004FTL	FEC-2447285	Multicomp
R154	Resistor, SMD, 2010	DNP	Not applicable	Not applicable	Not applicable
S1, S2, S3, S4	Switch, tactile, single pole single throw (SPST), number, 0.05 A, 24 V	Switch	B3S-1000	FEC-177807	Omron
T1	2 line, common-mode choke, surface-mount, 190 $\Omega$ at 100 MHz, 5 A dc resistance, 20 m $\Omega$	DLW5BS	DLW5BSN191SQ2L	FEC-1515607	Murata
TP1, TP2	Test point, tin, SMD	CON1	S1751-46R	FEC-2293786	Harwin
U1	IC digital iso, 2.5 kV, 4 channel, 24 SSOP	ADuM5411	ADUM5411BRSZ	FEC-2667947	Analog Devices

Reference Designator	Part Description	Value	Part Number	Farnell Order Code	Manufacturer
U2	IC, ADC, 24-bit, SPI, serial, 40 LFCSP	AD4111	AD4111BCPZ	Not applicable	Analog Devices
U3	IC, VREF, series, 2.5 V, 8 SOIC	ADR4525	ADR4525ARZ	FEC-2112685	Analog Devices
U4	IC, MCU, 32-bit, 256 KB, flash, 64 LFCSP	ADuCM3029	ADUCM3029BCPZ	FEC-2747646	Analog Devices
U14	IC, regulator, linear, 3.3 V, 500 mA, 8 MSOP	ADP124	ADP124ARHZ-3.3-R7	FEC-1827296	Analog Devices
U15	IC, regulator, linear, 5.0 V, 200 mA, 8 MSOP	ADP7142	ADP7142ARDZ-5.0-R7	FEC-2727495	Analog Devices
U5, U6	IC, flash, 256-mbit, 80 MHz, 8 WSON	W25Q256FV	W25Q256FV	Digi-Key W25Q256FVEIG-ND	Winbond Electronics
U16, U17	IC, gate, 1 channel, 2-INP SOT23-5	74LVC1G08	SN74LVC1G08DBV	FEC-1287593	Texas Instruments
U18	IC, USB, FS, serial, UART, 32-QFN	FT232R	FT232RQ	FEC-1146033	FTDI
Y1	Crystal, 16.00 MHz, 9.0 pF, SMD	16 MHz	Q24FA20H00044 FA-20H 16 MHz 9.0 pF	FEC-1712814	Epson
Y2	Crystal, 32.7680 KHz, 12.5 pF, SMD	32.768 KHz	ABS07-32.768KHZ-T	FEC-2101347	Abracon
Y3	Crystal, 26.0000 MHz, 10 pF, SMD	26 MHz	ABM8G-26.000MHZ-B4Y-T	FEC-2101340	Abracon