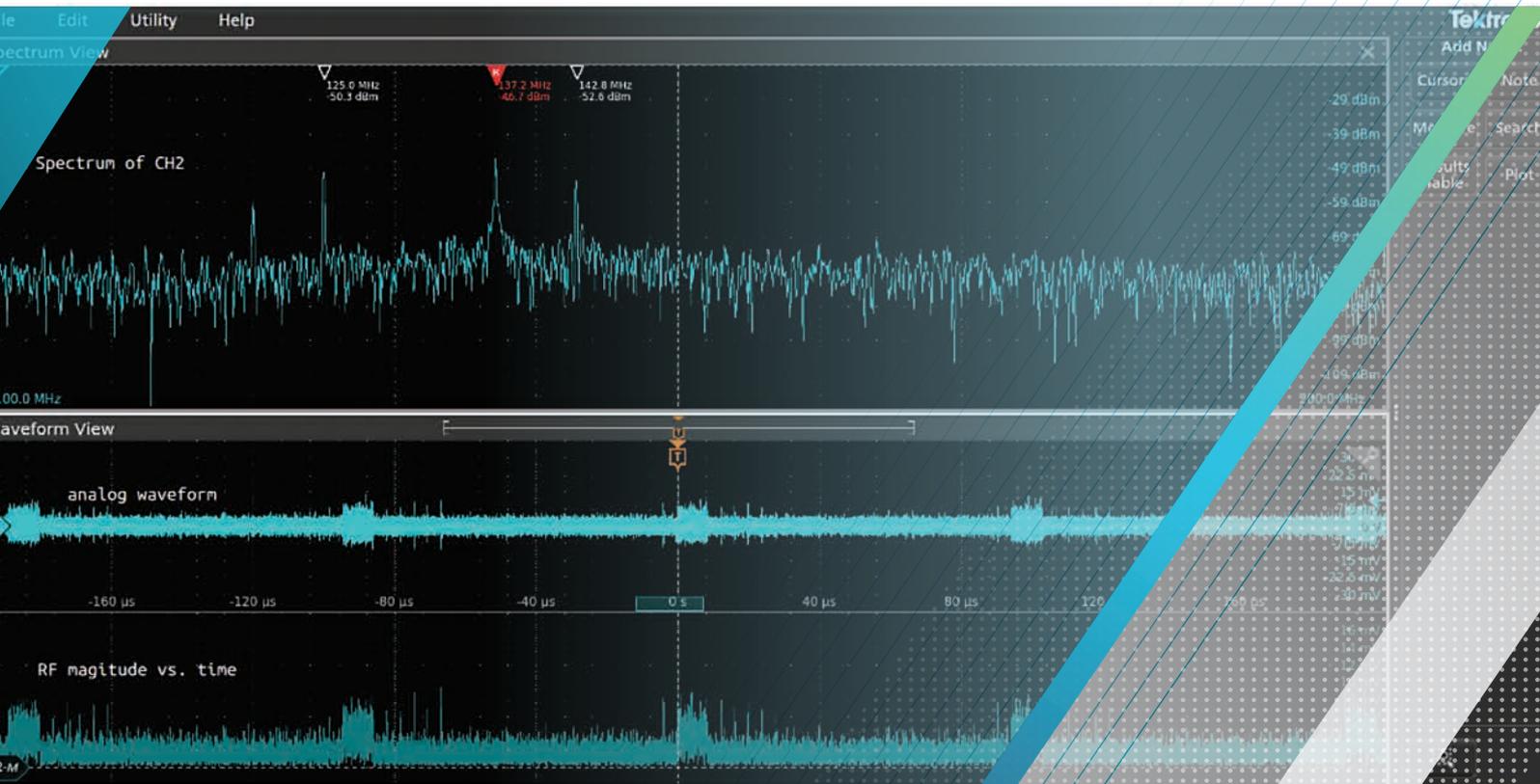
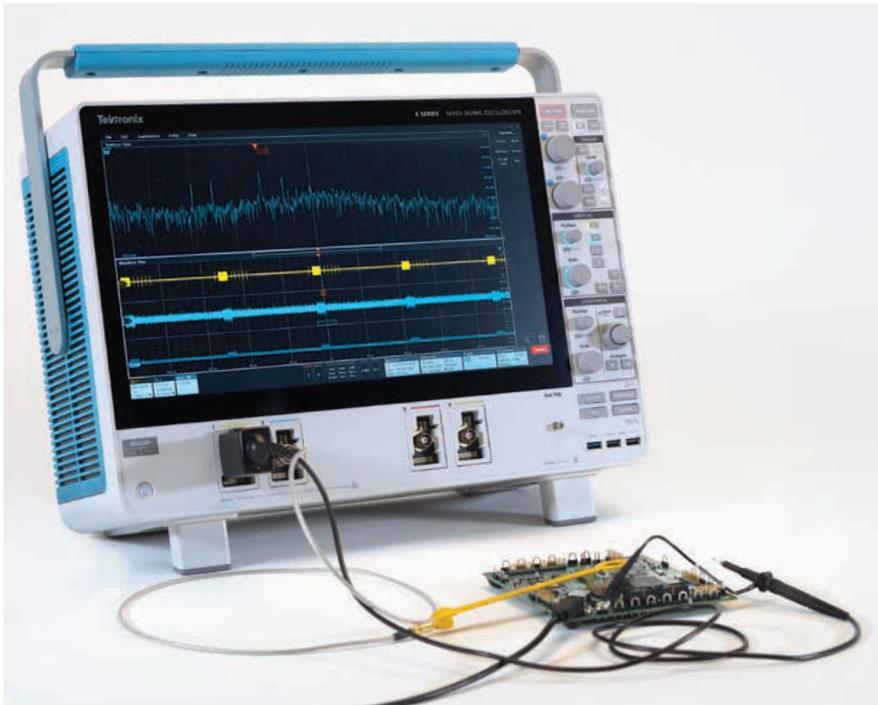


# 新世代オシロスコープによる EMIトラブルシュート

アプリケーション・ノート





## はじめに

EMI/EMC規制は、電気／電子機器の動作信頼性、ユーザのための安全性を確保します。規制は、許容可能なエミッションを制限しており、製品をこの制限値内におさめるためにエンジニアは多くの時間と努力を費やします。このアプリケーション・ノートでは、不要なエミッションの発生源の特定方法、特に公式な試験またはプリコンプライアンス試験で制限値を外れた条件の特定方法について説明します。

多くの企業では、EMI/EMC認証で必要となる実際のコンプライアンス・テストを行う、特殊なテスト・サイトによるサービスを受けています。テスト・ラボは、外部企業（テスト・ハウス）や社内のEMC部門が所有しています。多くのエンジニアは過去の設計経験から、EMI/EMCの問題となる可能性を最小にしています。優れたEMI/EMCシミュレーション・パッケージがあったとしても、製品をコンプライアンス試験に出す前に設計／プロトタイプ段階でプリコンプライアンス測定を行い、可能性のあるEMI/EMC問題を検出し、特定するのが一般的です。こうすることで、テスト・サイトで製品のフル・コンプライアンス試験で不合格となるリスクを軽減できます。

コンプライアンス試験結果に影響を及ぼすエミッションの発生源を効率的に特定するトラブルシュートでは、さまざまな試験機器が使用されます。多くの場合、テクトロニクス社の4/5/6シリーズMSOとSpectrum View機能、またはMDO4000シリーズとスペクトラム・アナライザ機能により、効率的なトラブルシュートが行えます。その他に、テクトロニクス社のRS306B型などのリアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用することで、原因特定までの時間を短縮することができます。このアプリケーション・ノートでは、このようなトラブルシュート方法をご紹介します。

## コンプライアンス試験で製品が不合格になると

優れた設計を行い、高品質の部品を選び、十分に時間をかけて注意深く特性を評価したとしても、EMIで問題が発生することがあります。

図1は、この規格の制限値を上回るピークが1つあることを示しています。通常、レポートには表形式の情報(図2)も含まれています。

## EMIレポートを理解する

このようなEMIレポートを見ただけで、特定の周波数において不合格になっていることがわかります。問題となる周波数からノイズの放射源を特定して、テストで合格するために放射ノイズのレベルを減衰させることが必要になります。問題の原因を特定し、設計を見直す前に、テスト・ラボはどのようにしてこのレポートを作成したかを知っておく必要があります。

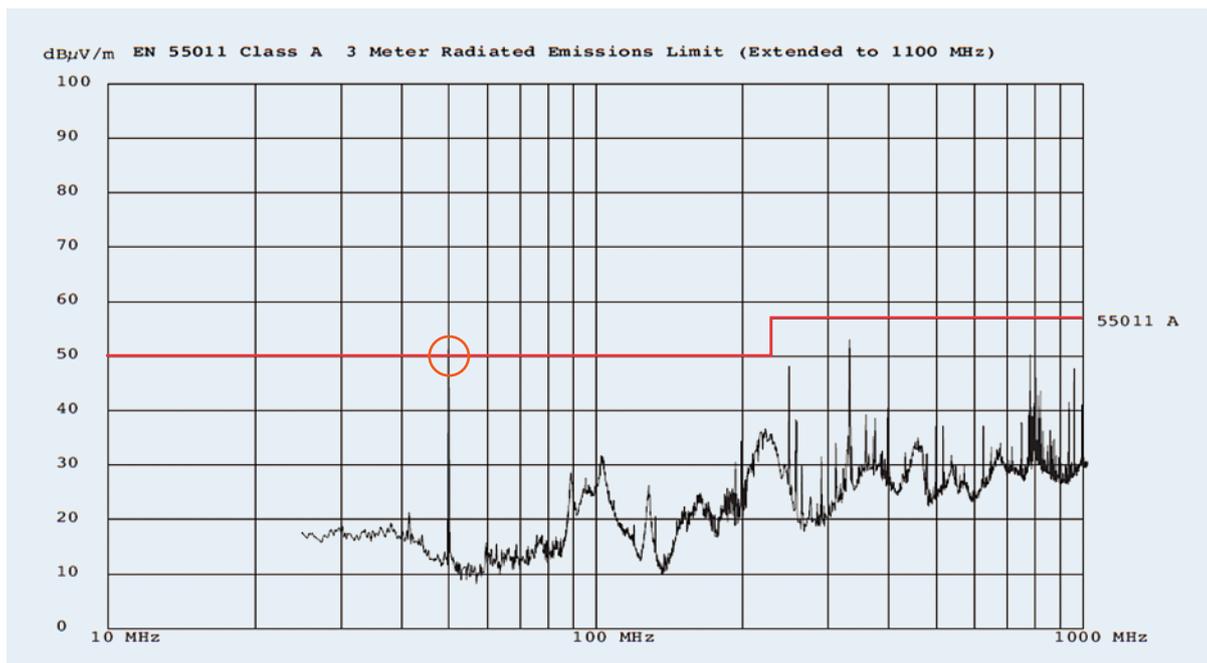


図1.50MHz付近での不良を示すEMIテスト・レポート

EN 55011 Class A 3 Meter Radiated Emissions Limit (Extended to 1100 MHz)									
Frequency (MHz)	Ampl. (dBµV)	AntFact (dB/m)	Ant. Pol.	Preamp (dB)	Cab.+Atten Loss	Chamber (dB)	Adjusted (dBµV/m)	Spec (dBµV/m)	Margin (dB)
49.9724	65.1	7.2	Hor.	27.1	1.1	5.0	51.3	50.0	-1.3
222.8912	47.7	11.1	Hor.	26.4	2.4	1.8	36.7	50.0	13.3
249.4451	59.3	12.2	Hor.	26.2	2.5	0.4	48.2	57.0	8.8
331.8535	56.6	14.3	Hor.	26.7	2.9	6.0	53.1	57.0	3.9
780.5217	49.8	23.1	Ver.	27.3	4.7	0.0	50.3	57.0	6.7
801.5817	44.1	23.2	Ver.	27.3	4.7	1.3	46.0	57.0	11.0
810.7382	40.3	23.2	Ver.	27.3	4.7	1.9	42.8	57.0	14.2
819.8947	40.5	23.2	Ver.	27.2	4.8	2.4	43.7	57.0	13.3
959.9890	44.4	23.5	Hor.	26.7	5.3	1.3	47.7	57.0	9.3

図2. 図1で示す49.9724MHzの不合格データを示しているが、問題となっている正確な周波数はわからない。

図1、図2は、テスト周波数、測定された振幅値、補正された電界強度が記載されています。補正後の電界強度の値が仕様のリミット値と比較され、マージンまたは超過として示されます。レポートにはさまざまなテスト条件が記載されていますが、重要な項目がいくつか記載されていません。

**周波数レンジとテスト・ポイント数：**テスト・レポートに記された周波数は、EMIソースの周波数そのものではありません。周波数レンジとテスト・ポイント数から、コンプライアンス・テストの周波数と発生源の実際の周波数がどのくらい近いかわかります。CISPR (Special International Committee on Radio Interference) によると、放射エミッション・テストでは、周波数レンジによってさまざまなテスト方法をとることになっています。表1に示すように、レンジごとに特定の分解能帯域幅フィルタと検波器が必要になります。

周波数レンジによってフィルタ帯域が決まるため、特定できる周波数の分解能も決まります。

周波数レンジ	CISPRバンド	検波器	フィルタ帯域
9kHz~150kHz	A	ピーク、QP	200Hz
150kHz~30MHz	B	ピーク、QP	9kHz
30MHz~1GHz	C/D	ピーク、アベレージ	120kHz
1GHz以上	E	ピーク、アベレージ	1MHz

表1. CISPRのテスト要件は周波数範囲によって異なり、周波数分解能に影響を及ぼす。

**検波器の種類：**一般に、テスト時間の短縮のため、テスト・ラボではまずピーク・スキャンでテストします。QP (準尖頭値) 検波によるスキャンは、検波器の特性のために時間がかかります (「ピーク検波の代表的な種類」の項を参照)。QP検波は、他の機器に影響を及ぼす信号をより強調するために加重しており、対象となる信号の絶対振幅とは異なります。

**アジマス／距離：**UUT (Unit Under Test、被測定ユニット) のスキャンでは、UUTをターン・テーブルに置くことでさまざまな角度から情報を収集します。UUTのどのあたりから問題が発生しているかわかるため、このアジマス情報は非常に重要です。

さまざまな要因に対応するために、EMIテスト・ラボでは校正された電波暗室で放射測定を行い、電界強度の結果をレポートします。

EMIテストで不合格になった機器のトラブルシューティングを、テスト・ラボとまったく同じ条件で行う必要はありません。高度に制御されたEMIテスト設備の絶対値測定の代わりに、テスト・レポートの情報、レポート作成で使用された測定技術の理解、UUT回りの相対的な観測から、発生源を特定し、改善の効果を評価します。

### ピーク検波の代表的な種類

EMIは、シンプルなピーク検出器で測定できます。しかし、EMI部署または外部のテスト・ラボでは、適用する規格ではQP検波を使用します。なぜQP検波が必要なのでしょう。

EMI部門または外部のテスト・ラボは、規定された上限に近づくか超えるような問題を見つけるため、まずシンプルなピーク検出器を使用してスキャンします。上限に近づくか超えるような信号では、QP検波で測定します。QP検波は、EMI測定規格で規定されている特殊な検波方法です。QP検波器は、信号の持続時間と繰り返しレートによって信号を加重して、信号のエンベロップの加重ピーク値(準尖頭値)を検波します。頻繁に発生する信号は、間欠的なインパルスに比べてQP検波の測定結果は高くなります。QP検波の問題点は、長い滞留時間が必要であり、ピーク検出よりも長い時間が必要になります。このため、QP検波は可能性の高い不良または特定の周波数において使用されます。

図3は、振幅が一定の、RF信号発生器からの連続波(CW)信号を示しています。信号は連続であるため、持続時間と繰返しレートまたは信号は無関係であり、同じ結果になります。

QP検波の値は常にピーク検波以下であり、決してピーク検波より大きくなることはありません。したがって、時間節約のため、EMIのトラブルシュート、診断にはピーク検波が使用できます。すべて相対的であるため、EMI部門のように正確である必要はありません。リミットが3dB超えているとレポートされ、ピーク検波で6dB超えていた場合は、ピーク検波の値が3dB低くなるように設計を修正します。

このアプリケーション・ノートで使用されているオシロスコープは、このようなトラブルシュートで推奨されたものであり、ピーク検波を備えています。プリコンプライアンス・スキャンでは、RSA306B型、RSA500シリーズ、RSA600シリーズ、RSA5000シリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザとEMCVu EMCプリコンプライアンス・ソフトウェアを使用することで、CISPRまたはFCCの放射と伝導エミッション・スキャンのためのQP検波、ピーク検波に対応できます。詳細については、当社ウェブ・サイトの「[電磁干渉\(EMI\)と電磁環境両立性\(EMC\)](#)」のページをご参照ください。



図3. 波形プロットと表による、CW信号のピーク検波とQP検波の比較の例。このプロットは、EMCVuプリコンプライアンス・ソフトウェアとテクトロニクスRSA306B型スペクトラム・アナライザで作成している。

## 基本方針

製品をEMIの観点から見た場合、すべての設計はさまざまなエネルギー源、アンテナの集合体と見ることができます。EMI問題の発生源を特定する場合、まずエネルギー源を検出し、次にこのエネルギーがどこから放射されているかを見つけてみます。EMI問題の代表的な発生源\*を次に示します。

- 電源フィルタ
- グランド・インピーダンス
- 不適切な信号リターン
- 液晶からの放射
- コンポーネントの寄生成分
- 貧弱なケーブル・シールド
- スイッチング電源 (DC/DCコンバータ)
- 内部カップリング問題
- 金属エンクロージャ内の静電放電

これらはEMIの代表的な発生源ですが、これがすべてではありません。特定の基板のエネルギーを検出する場合、近接界プローブを使用することがあります。この種のプローブの使用では、信号伝搬の基礎を心得ておく必要があります。

特定のEMI問題の中心となっている発生源と放射構造を特定するには、観測される信号の周期性と同時性を確かめる必要があります。

### 周期性：

- 信号のRF周波数は？
- パルスか連続波か？

信号特性は汎用のスペクトラム・アナライザで観測できます。

### 同時性：

- UUTのどの信号がEMIイベントと一致しているか？

通常、UUTの電気信号はオシロスコープで観測します。

EMI問題と電氣的イベントの一致を調べるのは、EMI診断で最も時間のかかる作業です。従来、スペクトラム・アナライザ、オシロスコープを使用して情報の相関性をとるのは非常に難しいことでした。4/5/6シリーズMSOのSpectrum View機能により(「Spectrum View」の項を参照)、EMIのトラブルシュートにおける複数の計測器の同期をとることの難しさが解消されました。

## 近傍界測定と遠方界測定

図4は、近傍界、遠方界、その遷移ゾーンの様子を示しています。近傍界では、磁界が支配的な領域から電界が支配的な領域まで広がっています。近傍界測定はトラブルシュートのために行われます。これは、近傍界測定によりエネルギー源が特定でき、特殊なテスト・サイトがなくても実行できるためです。遠方界測定では、電界に対する磁界の比は基本的に一定です。

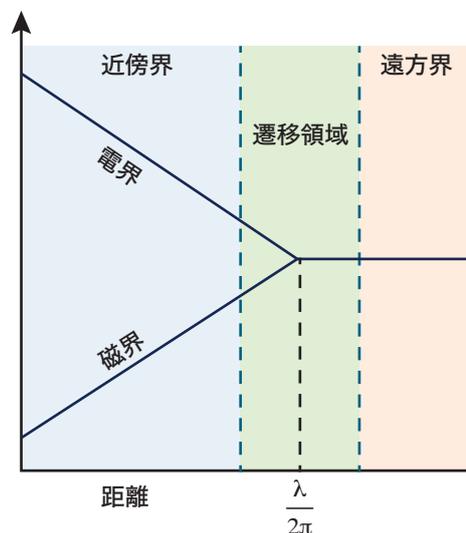


図4. 近傍界から遠方界への領域変化でのソースからの距離は、信号波長に比例(周波数に反比例)する。

\* W. D. Kimmel, D. D. Gerke; "Ten Common EMI Problems in Medical Electronics"; Medical Electronics Design; October 1, 2005

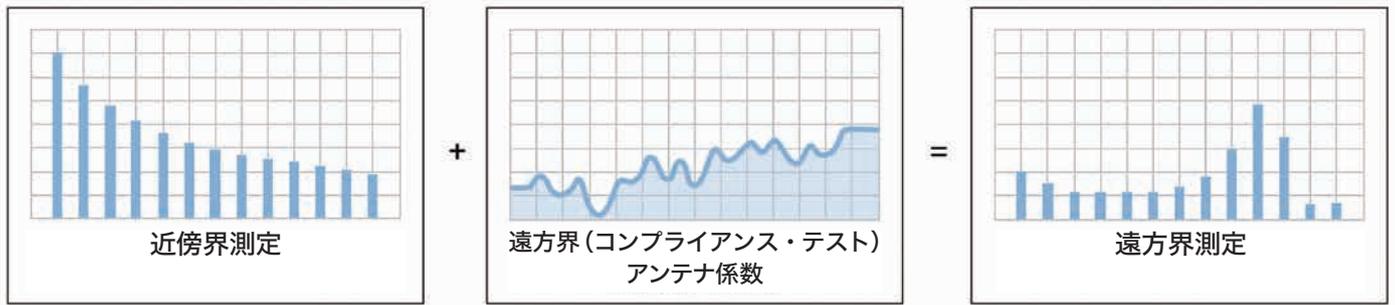


図5. 遠方界測定では、近傍界の振る舞いだけでなく、アンテナ・ゲイン、テスト条件などの要素も影響する。

しかし、コンプライアンス・テストは遠方界で実行します。近傍界測定から遠方界のエネルギー・レベルを予測するのは困難です。これは、遠方界信号の強度が、信号源の強度だけでなく、放射メカニズムやシールド、フィルタリングなどによっても異なるためです。経験的には、遠方界で信号が観測できれば、同じ信号は近傍界でも観測できます。しかし、近傍界で信号が観測できても、同じ信号を遠方界で測定できるとは限りません。

### 近接界プロービング

コンプライアンス・テストの手順は、絶対測定、校正された測定になるように実施されますが、トラブルシュートのほとんどの部分では相対測定によって実行されます。

近接界プローブは基本的にはアンテナであり、磁気 (磁界) または電気 (電界) の変動をピックアップするように設計されています。一般に、近接界プローブの応答はプローブからUUT、信号源の距離と向きによって大きく異なるため、近接界プローブには校正データが付属していません。したがって、近接界プローブは相対測定で使用します。

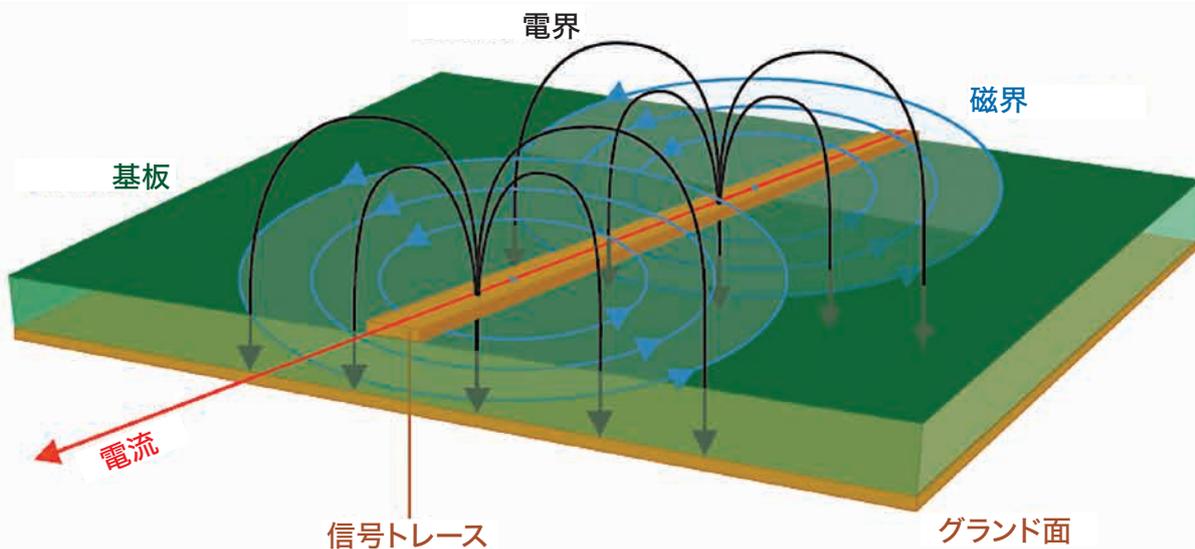


図6. 信号の元になる電圧、電流の変化により、電界、磁界が発生する。

## 磁界プローブ

磁界プローブはループ状の設計になっており、ループ面を電流の流れに沿ってプロービングすることで、ループが磁束の磁界ラインと交差できます。エミッションの探索などでは、プローブのループ面を回路基板の表面と平行に構えます。ループの大きさが感度と測定領域が決まるため、エネルギー源を特定する場合にこのプローブを使用する場合は注意が必要です。近接界プローブ・キットにはサイズの異なるプローブが何本か入っているため、ループの小さなプローブを使用することで狭い領域を測定することができます。磁界プローブは、以下のような比較的大きな電流の変化による放射源の特定に優れています。

- 低インピーダンスのノード／回路
- 伝送ライン
- 電源
- 終端された導線／ケーブル

## 電界プローブ

電界プローブは小さなモノポール・アンテナとして機能し、電界または電圧変化に応答します。このタイプのプローブを使用する場合、測定面に対して垂直にプロービングすることが重要です。実際には、非常に小さな領域に焦点を当て、比較的高い電圧、以下のような終端のない放射源の特定に適しています。

- ハイ・インピーダンスのノード／回路
- 終端されていないプリント基板の配線
- ケーブル

低い周波数では、システムの回路ノード・インピーダンスは非常に高くなることがあるため、磁界プローブまたは電界プローブのどちらかを使用すれば高い感度で測定できるかは、回路の知識または経験が必要になります。高い周波数では、その差はさらに大きくなります。いずれの場合でも相対測定を繰り返すことによって、ノイズ対策を実施後の近傍界エミッションの変化が正確に再現できます。注意すべき最も重要なポイントは、測定対象が替わっても近接界プローブの位置や向きを同じようにすることです。

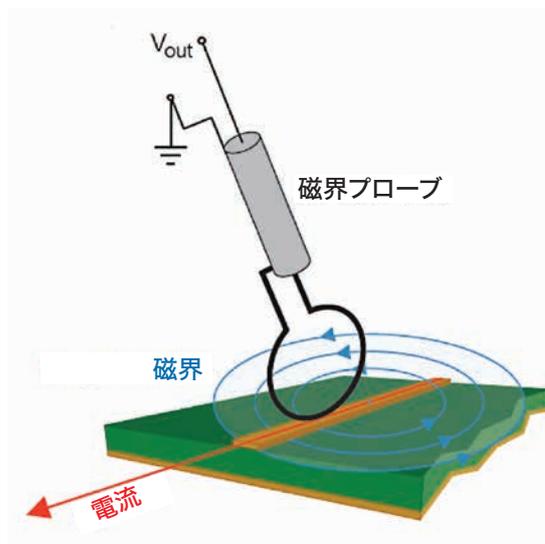


図7. 磁界プローブを電流の流れに沿ってプロービングすることで、ループの中に磁界が通る。

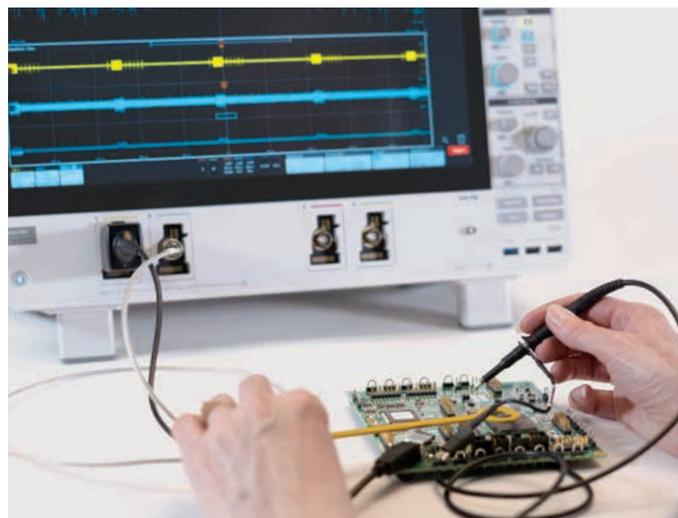


図8. 実際のアプリケーションでの磁界プローブの使用例であり、トラブルシューティングで使用する場合の向きを示している。

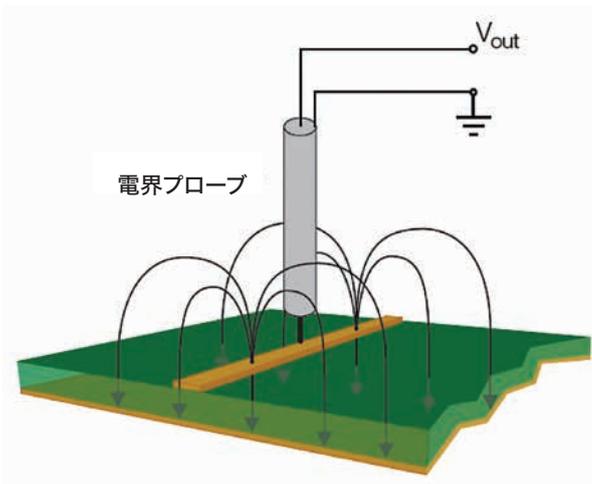


図9. 電界プローブを導体に垂直にプロービングすることで電界が観測できる。

## Spectrum View : 周波数ドメイン解析の新しいアプローチ

4/5/6シリーズMSOは、アナログ信号の特性、デジタル・タイミング、バス・トランザクション、周波数スペクトラムを同期させて表示することができます。

次世代のASIC技術で実現されたSpectrum Viewは、オシロスコープによる従来のFFT（高速フーリエ変換）で生ずるRF測定の問題点を、以下のように解決します。

- スペクトラム解析では馴染みのある項目（中心周波数、スパン、RBW（分解能帯域幅））が設定可能
- 時間ドメインと周波数ドメインの表示を、それぞれ最適に設定可能
- スペクトラム表示の更新レートの向上
- 周波数ドメインにおける周波数分解能の大幅な向上
- 信号を別々の入力に分けることなく、波形表示とスペクトラム表示の両方で観測可能
- 周波数ドメインの観測が、アキュジションの中で、時間とともにどのように変化するかを簡単に調べられる
- 時間ドメインのイベントと周波数ドメインのイベントの相関性が簡単に、正確に理解できる

MDO4000シリーズも同様の機能はありますが、それは専用のスペクトラム・アナライザ入力を装備しているからです。ただし、4/5/6シリーズMSOと違い、RF解析で使用されるのはスペクトラム・アナライザ入力のみです。3シリーズMDOはRF解析で使用するスペクトラム・アナライザを内蔵していますが、周波数スペクトラムと時間ドメインの波形を同時に取込んだり、観測することはできません。

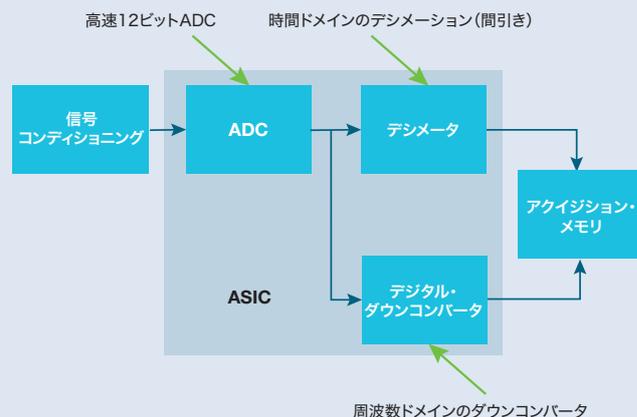


図11. テクニクス社の4、5、6シリーズMSOは、カスタムASICで実装されたデジタル・ダウンコンバータにより、波形とスペクトラムを独立に設定しながら、同時に観測できる。

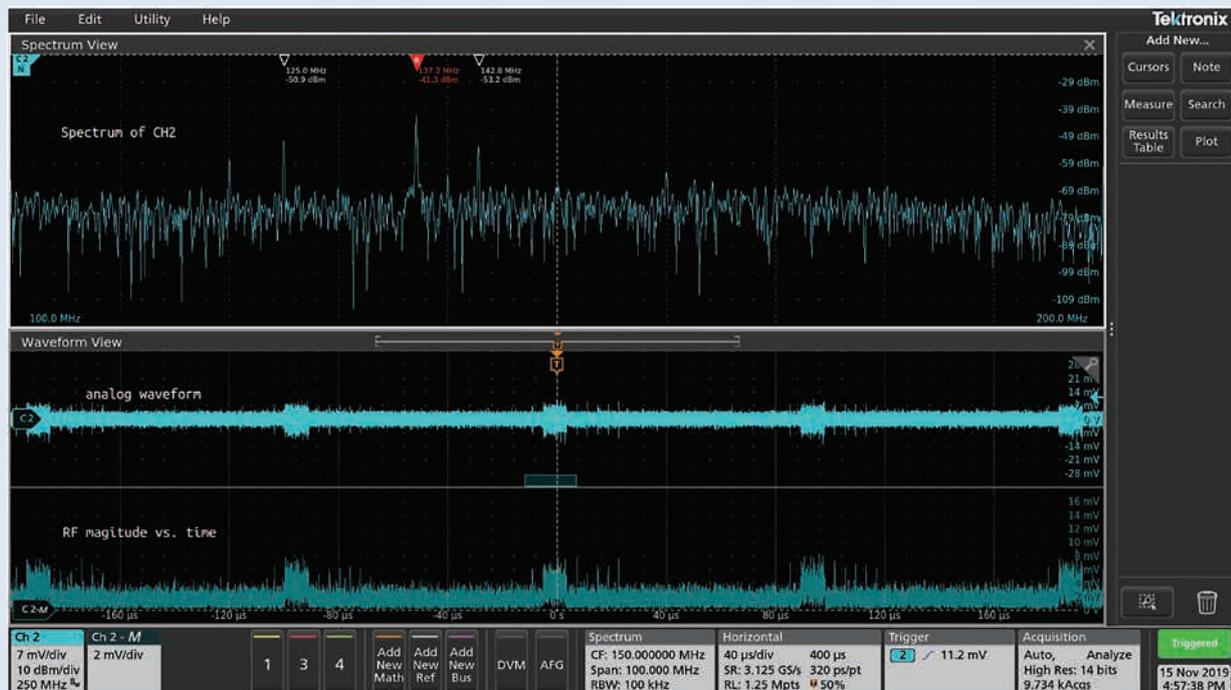


図10. Spectrum Viewでは、時間、周波数、振幅が同じ画面上で観測でき、測定データはドメインごとに独自に利用可能。

## 測定事例：信号の特性と同時性から発生源を特定する

この事例では、EMIの発生源を特定するプロセスを説明します。小さなマイクロコントローラのEMIスキャンから、140MHz付近を中心として広帯域信号がリミット超過になっています。

6シリーズMSOのSpectrum View機能を使用します(図12)。RF入力に磁界プローブを接続することで、エネルギーの発生源が特定できます。

ここでは、検証する導体に沿って磁界プローブをあて、導体で発生する磁界の磁束線がプローブのループに通るようにします。プリント基板の周辺で磁界プローブを動かすことにより、エネルギーの発生源が特定できます。ループの開口部の小さなプローブを選ぶことで、さらに狭いエリアを探ることができます。

可能性のある発生源が特定できたならば、RF振幅対時間波形(図13)からより詳細な情報を収集します。この波形には、スパンにおけるすべての信号のパワー対時間が統合されて表示されます。図13では、大きな繰返しパルスが確認できます。スペクトラム・タイムをレコード長の中で移動させると、EMIイベント(140MHz付近を中心とした



図12. ミックスド・シグナル・オシロスコープのテスト・セットアップにより、アナログ電圧対時間の波形と、独立して調整可能なスペクトラム解析波形の組合せが可能

ワイドバンド信号) が大きなパルスに直接対応していることがわかります。測定マーカーをオンにすることでパルスの繰返し周期が測定でき、周期が直接わかります。このように、Spectrum Viewを使用することでトランジェント・エミッションの期間と繰返し間隔が簡単に観測できます。原因特定に役立つ十分な情報が得られますが、さらに詳細なトラブルシュートが可能です。



図13. 中央の波形は、磁界プローブの時間ドメイン波形。スペクトラム波形(上)には、波形の下にある青の四角(オレンジで囲まれた部分)で示されるスペクトラム時間に対応する周波数成分が表示される。RF振幅対時間の波形(下)には、繰返しRFパルスが表示されている。



図14. Ch1の受動プローブで信号をプロービングすることで(黄色の波形)、RF(シアン色の波形)に対応した信号が表示される。

EMI発生源を特定するもう一つの手順では、6シリーズMSOの別のチャンネルを使用します。設定はそのままにしてオシロスコープのCh1をオンにし、EMIイベントと同期している信号源をプリント基板で探します。

オシロスコープで信号を探した結果を図14に示します。Ch1の信号とEMIイベントの相関性がはっきりと確認できます。

## まとめ

EMIコンプライアンス試験で不合格になると、製品の開発スケジュールに影響を及ぼすことがあります。しかし、ここで説明したトラブルシュート方法を実践することにより、エネルギー源が特定できるため、設計修正の計画を立てることができます。トラブルシュートを効果的に行うためには、コンプライアンス・テスト・レポートを理解し、コンプライアンス試験とトラブルシュートでは異なった測定手法が採用されていることを理解する必要があります。一般的に、比較的大きな電磁界を探すのか、その特性を知るのか、電磁界の振る舞いと回路動作のタイミングから発生源を特定するのかによって、その測定方法は異なります。

テクトロニクスは、下の表に示すようなEMIのトラブルシュートに対応したさまざまなソリューションを取り揃えています。詳細については、当社ウェブ・サイト(jp.tek.com)をご覧ください。

計測器の種類	型名	アプリケーション	主な特長
オシロスコープ	MDO4000Cシリーズ	EMIのトラブルシュート	<ul style="list-style-type: none"> <li>独立したスペクトラム・アナライザ</li> <li>RF対時間相関トリガ</li> </ul>
オシロスコープ	4/5/6シリーズMSO	EMIのトラブルシュート	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spectrum View：統合されたデジタル・ダウンコンバータ</li> <li>RF対時間相関表示</li> </ul>
スペクトラム・アナライザ	RSA306B型、RSA500シリーズ	EMIのプリコンプライアンスとトラブルシュート	<ul style="list-style-type: none"> <li>QP検波</li> <li>スペクトラム成分のリアルタイム表示</li> <li>主なEMI規格に対応したプリコンプライアンス・ソフトウェア</li> </ul>

**お問い合わせ先：**

オーストラリア 1 800 709 465  
オーストリア 00800 2255 4835  
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777  
ベルギー 00800 2255 4835  
ブラジル +55 (11) 3759 7627  
カナダ 1 800 833 9200  
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777  
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777  
デンマーク +45 80 88 1401  
フィンランド +41 52 675 3777  
フランス 00800 2255 4835  
ドイツ 00800 2255 4835  
香港 400 820 5835  
インド 000 800 650 1835  
インドネシア 007 803 601 5249  
イタリア 00800 2255 4835  
日本 81 (3) 6714 3086  
ルクセンブルク +41 52 675 3777  
マレーシア 1 800 22 55835  
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90  
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777  
オランダ 00800 2255 4835  
ニュージーランド 0800 800 238  
ノルウェー 800 16098  
中国 400 820 5835  
フィリピン 1 800 1601 0077  
ポーランド +41 52 675 3777  
ポルトガル 80 08 12370  
韓国 +82 2 6917 5000  
ロシア +7 (495) 6647564  
シンガポール 800 6011 473  
南アフリカ +41 52 675 3777  
スペイン 00800 2255 4835  
スウェーデン 00800 2255 4835  
スイス 00800 2255 4835  
台湾 886 (2) 2656 6688  
タイ 1 800 011 931  
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835  
アメリカ 1 800 833 9200  
ベトナム 12060128

2017年4月現在



jp.tek.com

## テクトロニクス／ケースレーインストルメンツ

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

TEL: 0120-441-046 ヨク良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～18:00  
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

TEL: 0120-741-046 なんと良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:00  
(土日祝日および当社休日を除く)

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2020, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。  
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2020年3月 48Z-61644-0