



実践的なEMIトラブルシューティング

はじめに

電気／電子機器の保護、ユーザの安全性を確保するため、世界中にEMI/EMC規制があります。最新の製品設計では、EMI低減のために多くの時間が使われ、開発努力がなされています。

多くの企業は、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優れた設計手法を採用し、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・テストに出す前に設計／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・テストを行った場合に不合格となるリスクを軽減できます。

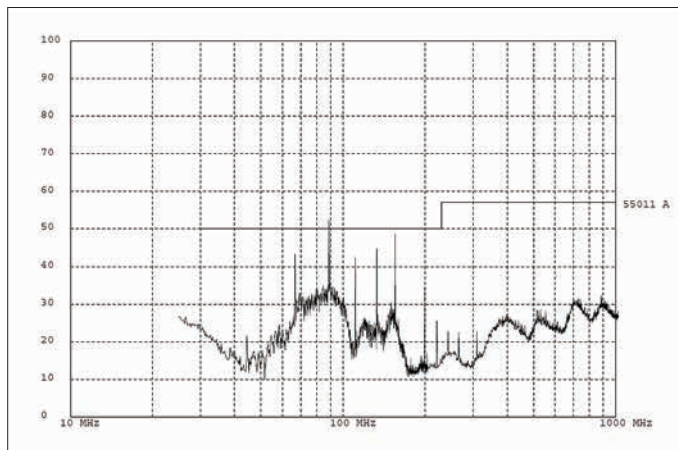


図1. 90MHz付近での不合格を示すEMIテスト・レポートの例

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

周波数 (MHz)	振幅 (dBμV)	アンテナ・ファクタ (dB/m)	アンテナ偏波	プリアンプ (dB)	ケーブルとアッテネータによる減衰	チャンバ (dB)	補正後の電界強度 (dBμV/m)	仕様 (dBμV/m)	マージン (dB)
66.5540	61.3	6.6	Hor.	27.9	0.7	2.8	43.5	50.0	6.5
84.5338	45.8	7.5	Hor.	27.8	0.8	8.7	35.0	50.0	15.0
88.7291	64.6	7.9	Hor.	27.8	0.8	6.8	52.3	50.0	-2.3
110.9042	59.0	7.6	Hor.	27.6	1.0	2.6	42.5	50.0	7.5
133.0795	62.1	7.3	Hor.	27.2	1.0	1.7	44.8	50.0	5.2
155.0557	64.8	8.6	Hor.	27.0	1.1	1.0	48.5	50.0	1.5

図2. 図1で示す88.7291MHz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

コンプライアンス・テストで不合格になるとは？

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)。

上記のレポート例では、この規格のリミットを上回るピークが1つ確認できます。通常、レポートには表による情報 (図2) も含まれています。

EMIレポートを理解する

上記のようなEMIレポートを一目見ただけで、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2の例では、テスト周波数、測定された振幅値、補正係数、補正後の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発生源の正確な周波数ではありません。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。

検波器の種類：一般に、テスト時間の短縮のためにテスト・ラボではまずピーク・スキャンで実施します。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 (右の「検波器の代表的な種類」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テストの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。

検波器の代表的な種類

EMIは、シンプルなピーク検出器で測定できます。しかし、EMI部門または外部のテスト・ラボでは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、信号のエンベロープの加重ピーク値 (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。

ピーク検波とQP検波の例を、図3に示します。ここでは、8 μ sパルス幅で10ms繰り返しレートの信号におけるピーク検波とQP検波の差を比較できます。QP値は、ピーク値より10.1dB小さくなっています。

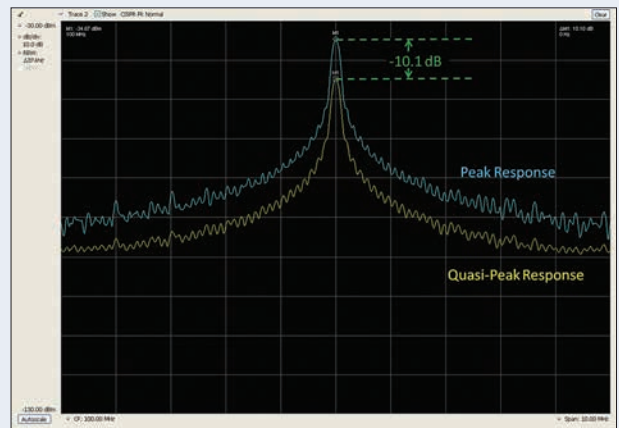


図3. ピーク検波とQP検波の比較

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、EMIのトラブルシューティング、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。認証機関がリミットを3dB超えているとレポートし、ピーク検波では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。

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
- 不連続のリターン・パス

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

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、近接界プローブが使用されることがあります。このタイプのプローブを使用する場合、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アンテナを特定するためには、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問題と電気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。MDO4000シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープ（8ページの「ミックスド・ドメイン・オシロスコープ」を参照）の登場により、EMIのトラブルシューティング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。

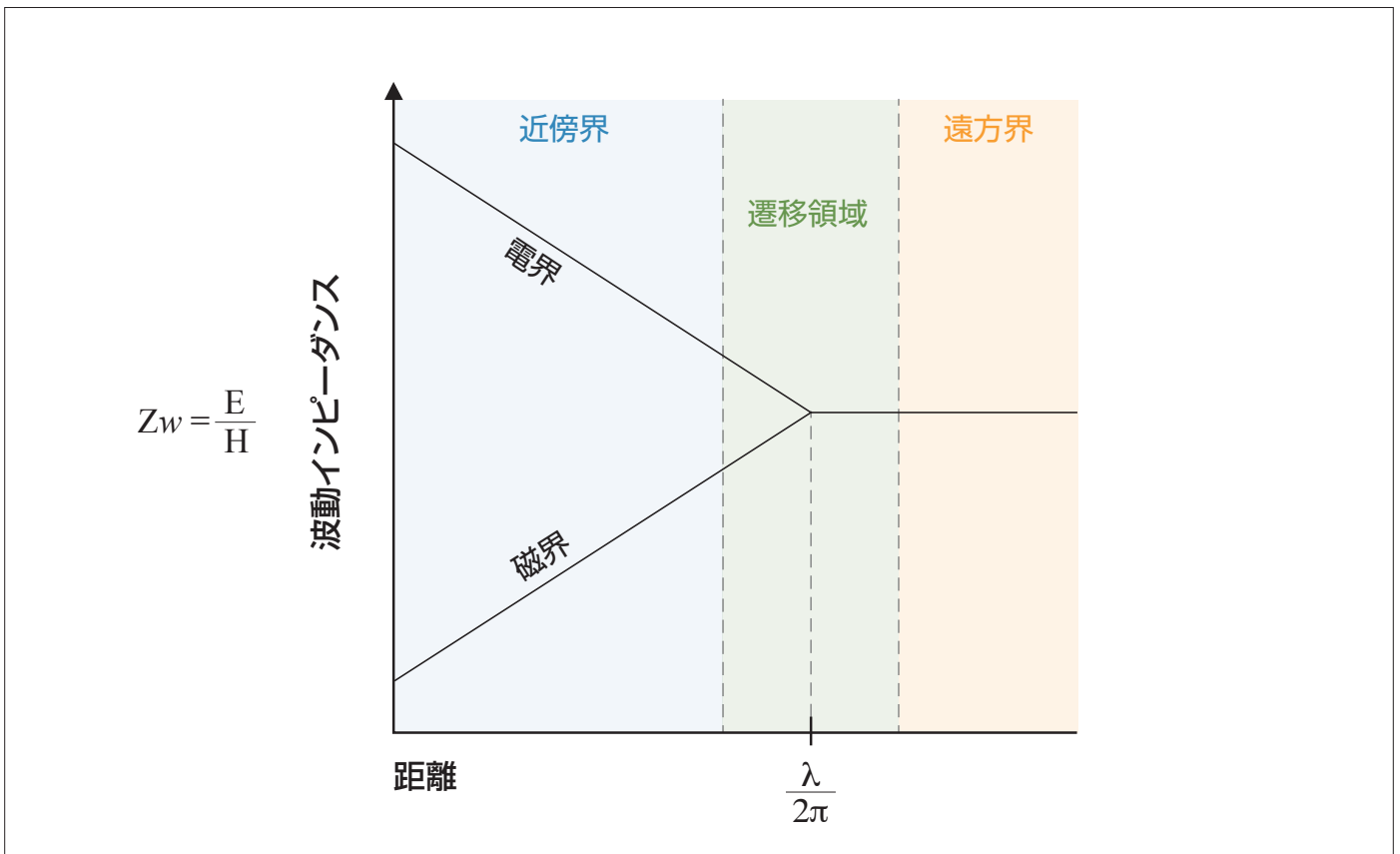


図4. 近傍界における波動インピーダンスは、信号源の性質と信号源からの距離によって決まる。遠方界では、インピーダンスは一定となる

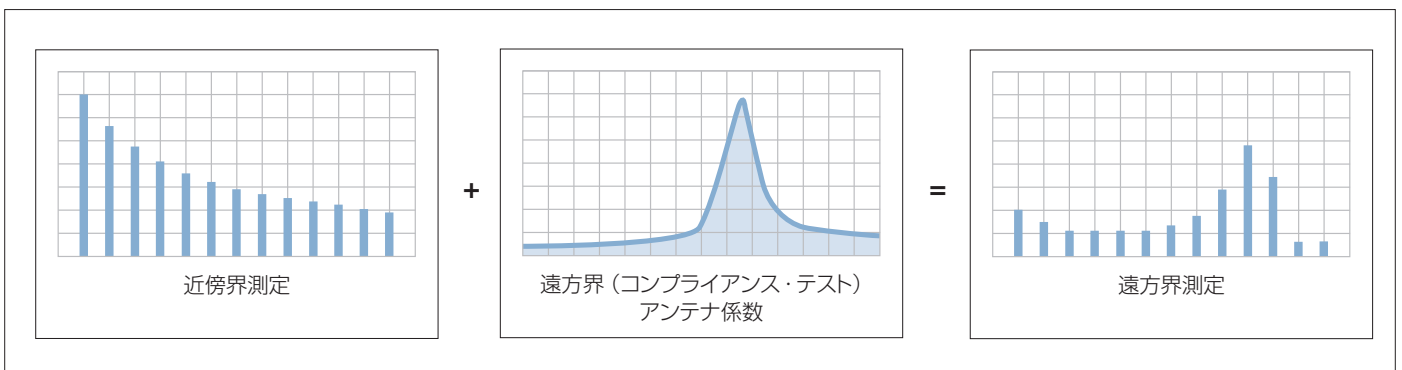


図5. 遠方界測定では、近傍界の振る舞いだけでなく、アンテナ・ゲイン、テスト条件などの要素も影響する

近傍界測定対遠方界測定

図4は、近傍界、遠方界、その遷移ゾーンにおける波動インピーダンス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、波動インピーダンスの範囲が広がっています。近傍界測定はトラブルシューティング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。

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。

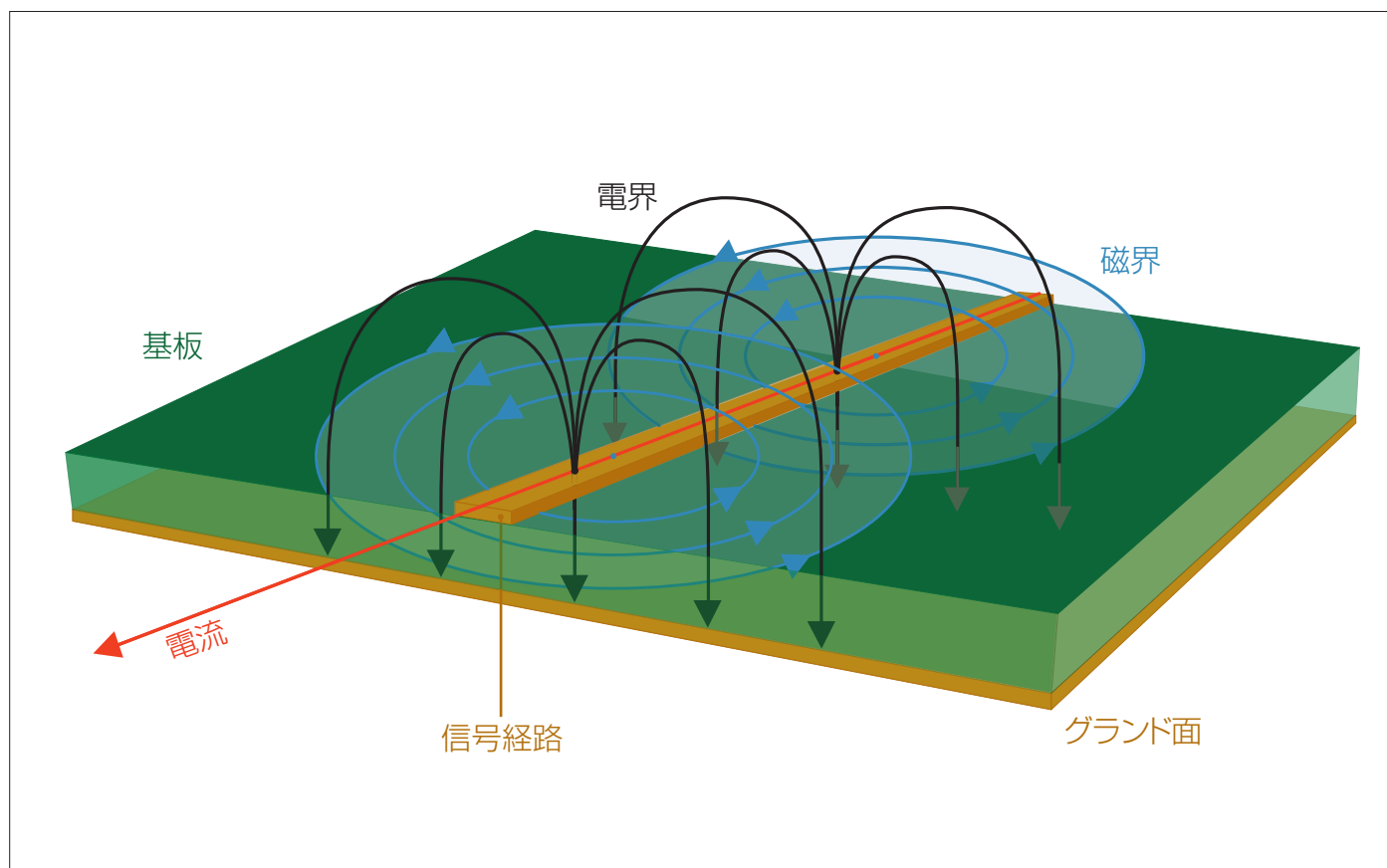


図6. 信号の元になる電圧、電流の変化により、電界、磁界が発生する

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、近接界プローブには校正データが付属していませんので、相対測定で使用されます。

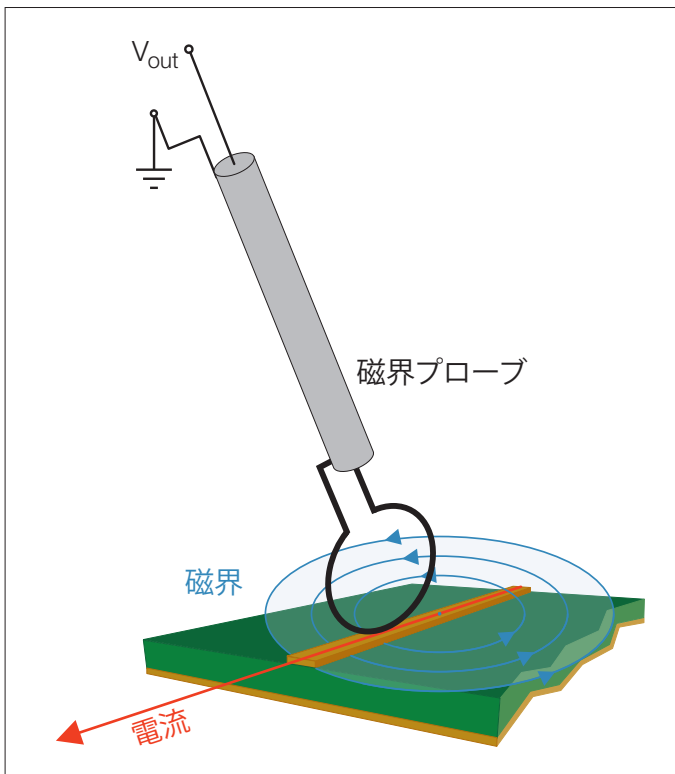


図7. 磁界プローブを電流の流れに沿ってプロービングすることでループの中に磁界が通る

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。ループの大きさと感度と測定領域が決まるため、エネルギーの発生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反応します。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可能性があるため、磁界プローブまたは電界プローブのどちら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。

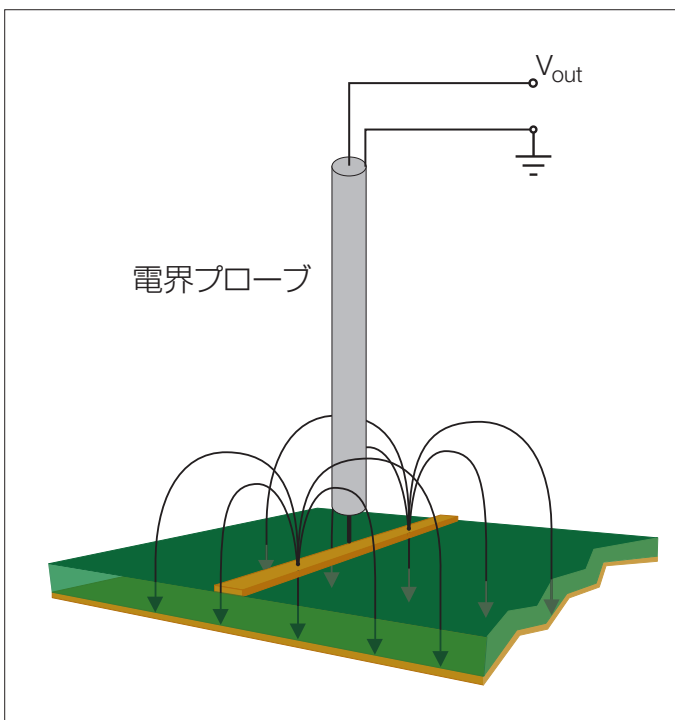


図8. 電界プローブを導体に垂直にプロービングすることで電界が観測できる

ミックスド・ドメイン・オシロスコープ

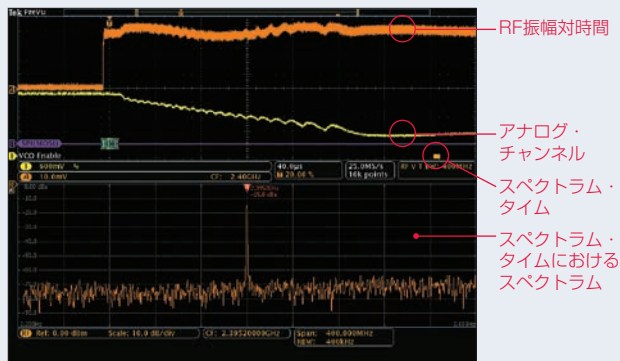


図9. MDO4000シリーズで観測される、オシレータ起動時の時間相関測定の実例

ミックスド・ドメイン・オシロスコープは、オシロスコープ、スペクトラム・アナライザ、ロジック・アナライザの機能を統合しています。MDO4000シリーズにはユニークな機能があり、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が同期して表示されます。MDO3000シリーズもオシロスコープ、スペクトラム・アナライザ、ロジック・アナライザの機能を統合していますが、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。



MDO4000シリーズはスペクトラム・アナライザ、オシロスコープ、ロジック・アナライザの機能を1台に統合しており、3種類の機能による測定を、時間相関をとって測定することが可能

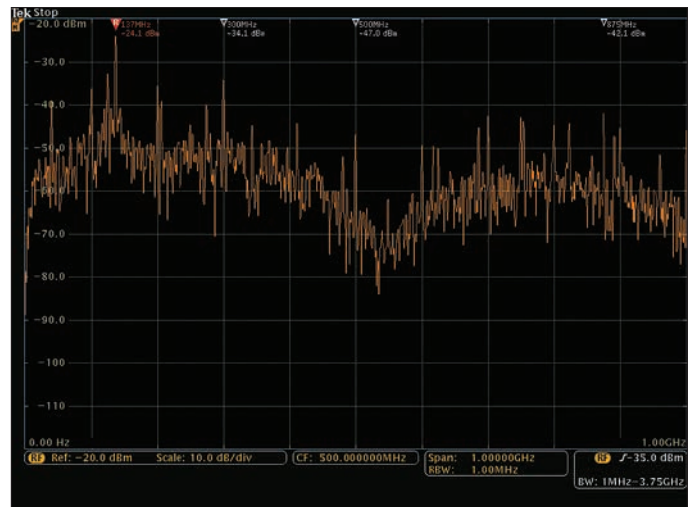


図10. UUTの近くに磁界プローブでプロービングし、その出力をスペクトラム・アナライザ機能で表示した例

導入事例：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スキャンによると、144MHz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るとのことです。

MDO4000シリーズのスペクトラム・アナライザ機能を使用します。RF入力コネクタに磁界プローブを接続すると、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ることで、プローブのループに導体で発生する磁界の磁束線が通るようにします。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を特定することができます。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。

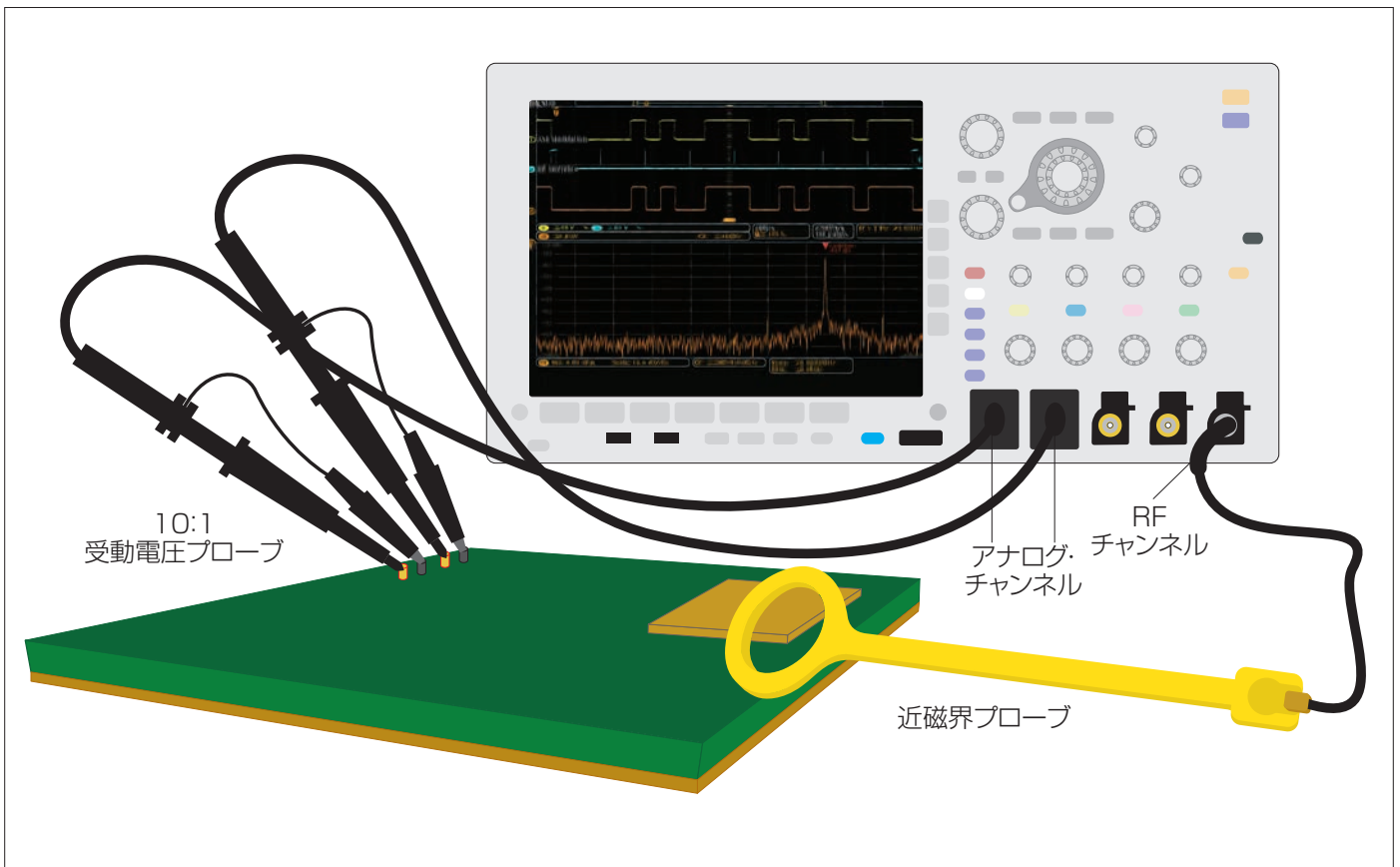


図11. ミックスド・ドメイン・オシロスコープのオシロスコープ・チャンネルとスペクトラム・アナライザ・チャンネルのセットアップ例

エネルギーの発生源がわかったならば、RF振幅対時間表示の機能をオンにします（図12）。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。大きなパルスがはっきりと表示されています。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。安定した測定にするため、RFパワー・トリガをオンにします。次に、レコード長を増やすことでRFパルスの発生頻度がわかります。測定マーカをオンにすることでパルスの繰り返し周期が測定でき、周期が直接わかります。

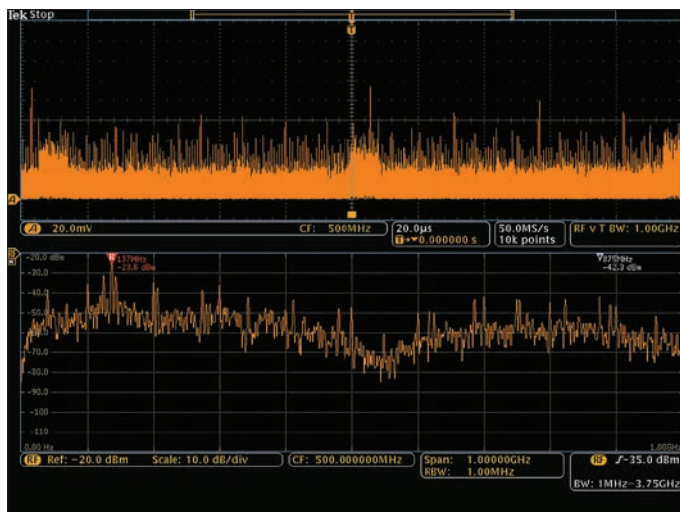


図12. RF振幅対時間の波形で大きなパルスが表示されている。スペクトラム表示では、その周波数成分が表示されている

EMI発生源を特定する次の手順は、MDO4000シリーズのオシロスコープ機能を使用します。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13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することができます。

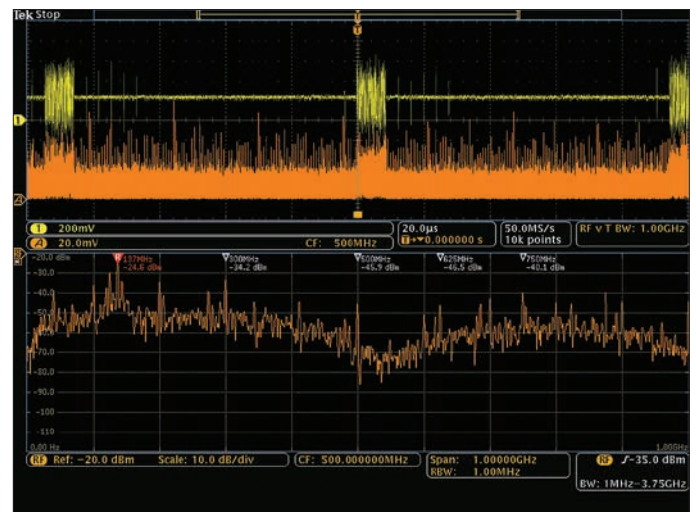


図13. オシロスコープに接続した受動プローブで信号をプロービングすることで、RFに対応した信号が表示される

まとめ

EMIコンプライアンス・テストで不合格になると、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ティング方法を実践することにより、エネルギーの発生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。トラブルシューティング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・テストとトラブルシューティングでは異なった測定手法が採用され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。

お問い合わせ先：

ASEAN／オーストラリア・ニュージーランドと付近の諸島 (65) 6356 3900
オーストラリア 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
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3010
ルクセンブルク +41 52 675 3777
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
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 001 800 8255 2835
ロシア +7 (495) 6647564
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
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200

2015年4月現在

Tektronix®

テクトロニクス お客様コールセンター 電話受付時間／
TEL:0120-441-046 9:00～12:00・13:00～18:00
ヨッ! 良い オシロ (土・日・祝・弊社休業日を除く)
〒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

jp.tek.com

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 © 2015, 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。

2015年12月 3GZ-30828-1