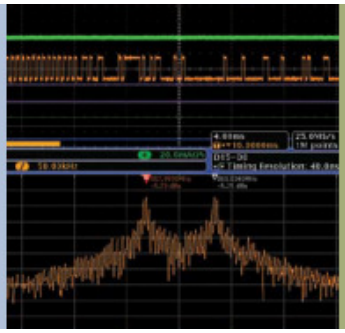
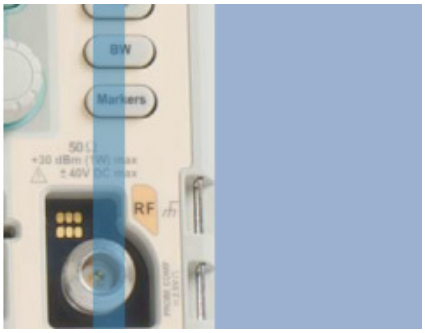




無線機能を搭載した組込みシステムの設計と検証

MDO4000 シリーズ アプリケーション・ノート

はじめに

無線技術を組込んだ設計は世界中で普及し、国や地域ごとの規制適合を考慮することが重要になっています。免許不要で無線による制御、遠隔操作が可能な周波数帯域は、国や地域によって無線通信規制が異なっています。

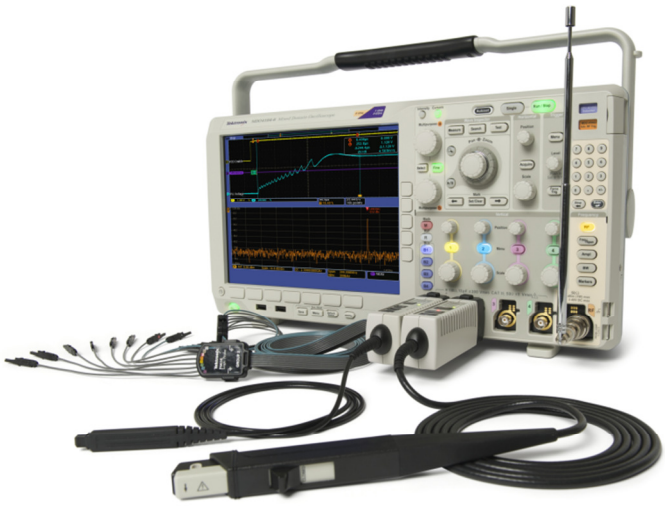
世界中どこでも、色々な用途で Bluetooth、ZigBee、Wi-Fi など、2.4GHz 帯の標準化された無線規格が使用されています。また、別の用途では、低周波無線による建物の通過、干渉の少なさ、低消費電力などが求められます。

このアプリケーション・ノートでは、テクトロニクスの MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープを使用し、ヨーロッパと北米の 2 つの地域における無線 IC の設計、検証、最適化についてご説明します。

使用する機材のご紹介

このアプリケーションの例では、Microchip Technologies 社の MRF89XAM8A モジュールと、それに搭載した MRF89XA IC を使用しています。このテストでは、外部 PC を使用して Microchip Explorer 16 デモ・ボードをコントロールします。

この無線モジュールは、ヨーロッパ規格における狭帯域、北米における広帯域のどちらでも使用できます。



Tektronix

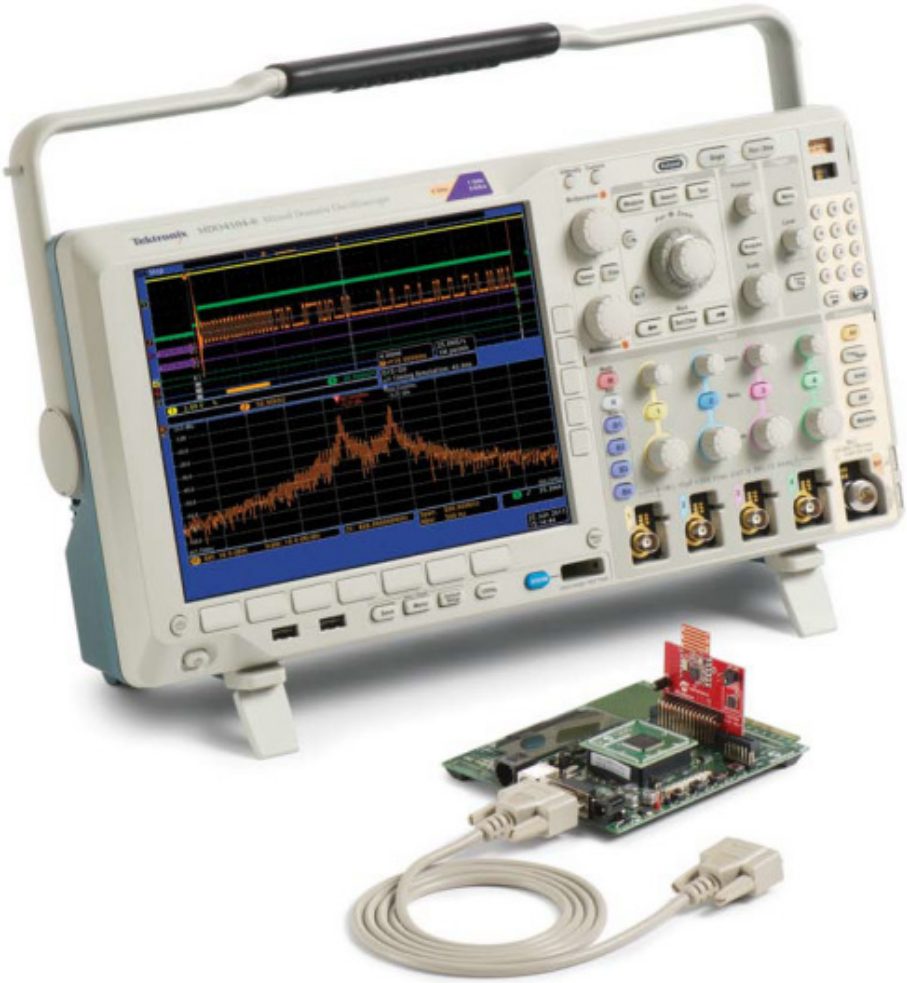


図 1. Tektronix MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープおよび マイクロチップ無線テスト・ボード・モジュール.

900MHz バンド無線の周波数／パワー／運用帯域の選択

ヨーロッパの多くの国では、免許不要の 868MHz 帯の無線が許可されており、25mW の送信電力、国、バンド・セグメントによっては、より大きな電力で、屋内で数百フィートの通信も可能です。また、規制により比較的狭いスペクトラム・セグメントになっているため、限られた占有帯域幅になるようにセットアップされています。

一方、北米では、915MHz（902～928MHz）付近で、免許不要の比較的広いスペクトラムが割り当てられています。しかし、ミリワットよりも小さな電力で伝送するため、信号は少なくとも 500kHz のスペクトラムに拡散しなければならず、ピーク・パワーにも厳しい制限があります。

北米の市場では、900MHz のスペクトラムにおいて、狭帯域で低電力、または広帯域で大電力のアプリケーションを選択することができます。

広帯域信号の使用にはデメリットもありますが、高いデータ・スループットが可能になります。北米では、低電力、狭帯域信号ではなく、広帯域で大電力の送信機を長い距離レンジで使用しています。

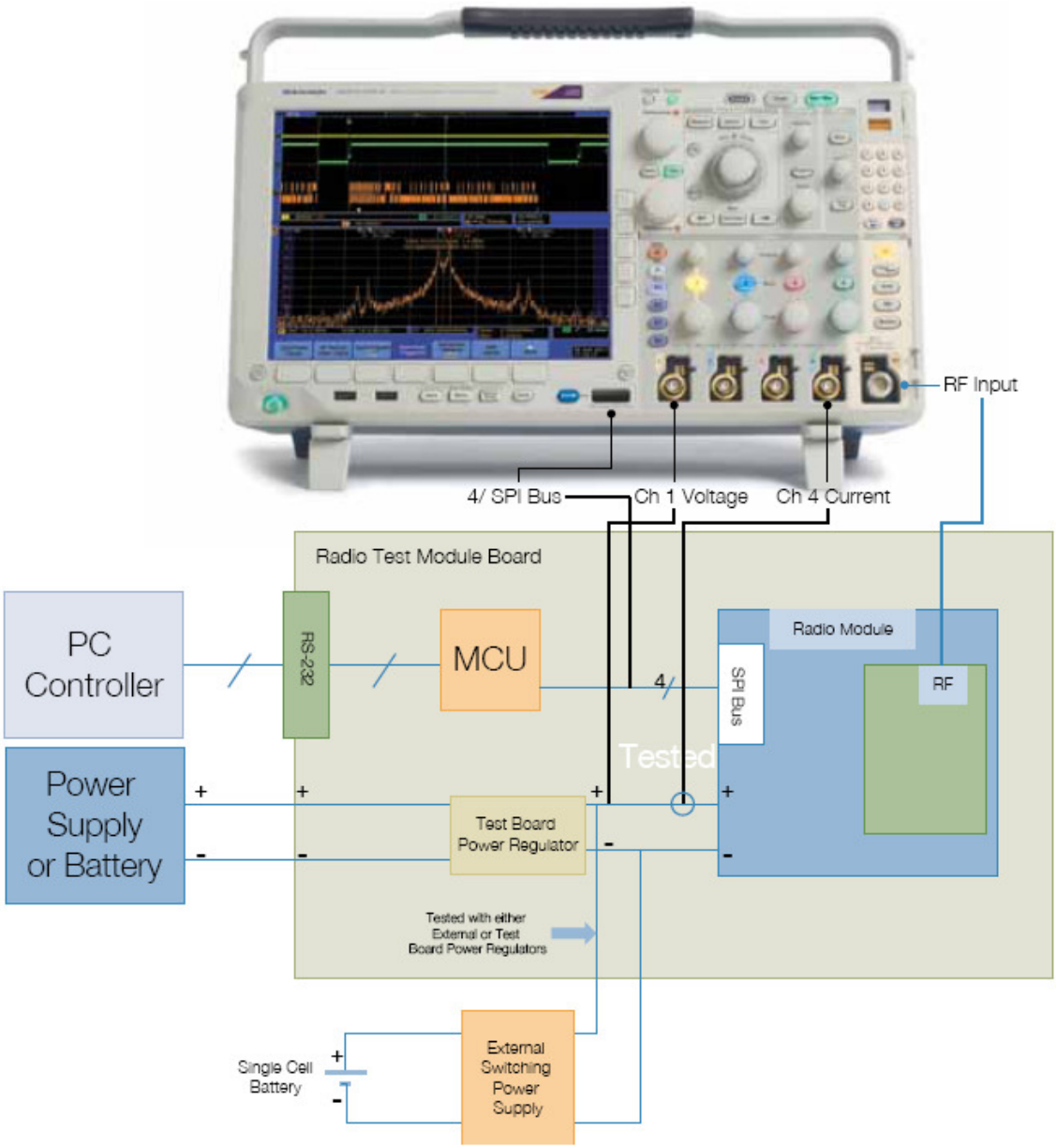


図 2. 被試験デバイス（Microchip 社製 MRF89XA モジュール）と MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープをテスト接続

無線機能の統合検証用のテスト設定

このアプリケーション例（図 2）では、Microchip Technologies 社の MRF89XAM8A モジュールと、それにのった MRF89XA IC を使用します。この IC は汎用性が高く、受信電力消費が非常に小さいのが特長です。スイッチング電源の影響をみるために、Microchip MCP1640 ブースト・レギュレータを使用します。

このテストでは 868MHz で説明しますが、北米の 915MHz バンドでは少し違った部品が必要になります。

測定は、MSO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープを使用して行います。MDO4000 シリーズは、最高 1GHz で 4 つのアナログ信号、16 のデジタル波形、最高 6GHz の RF スペクトラム信号を同時に表示するという、革新的な機能を持っています。また、最大 4 つのデコードされたシリアル／パラレル・バスの表示も可能です。

これらすべての信号は時間相関がとれているため、RF の時間、周波数ドメインにおける制御信号とアナログ信号の影響を確認することができます。

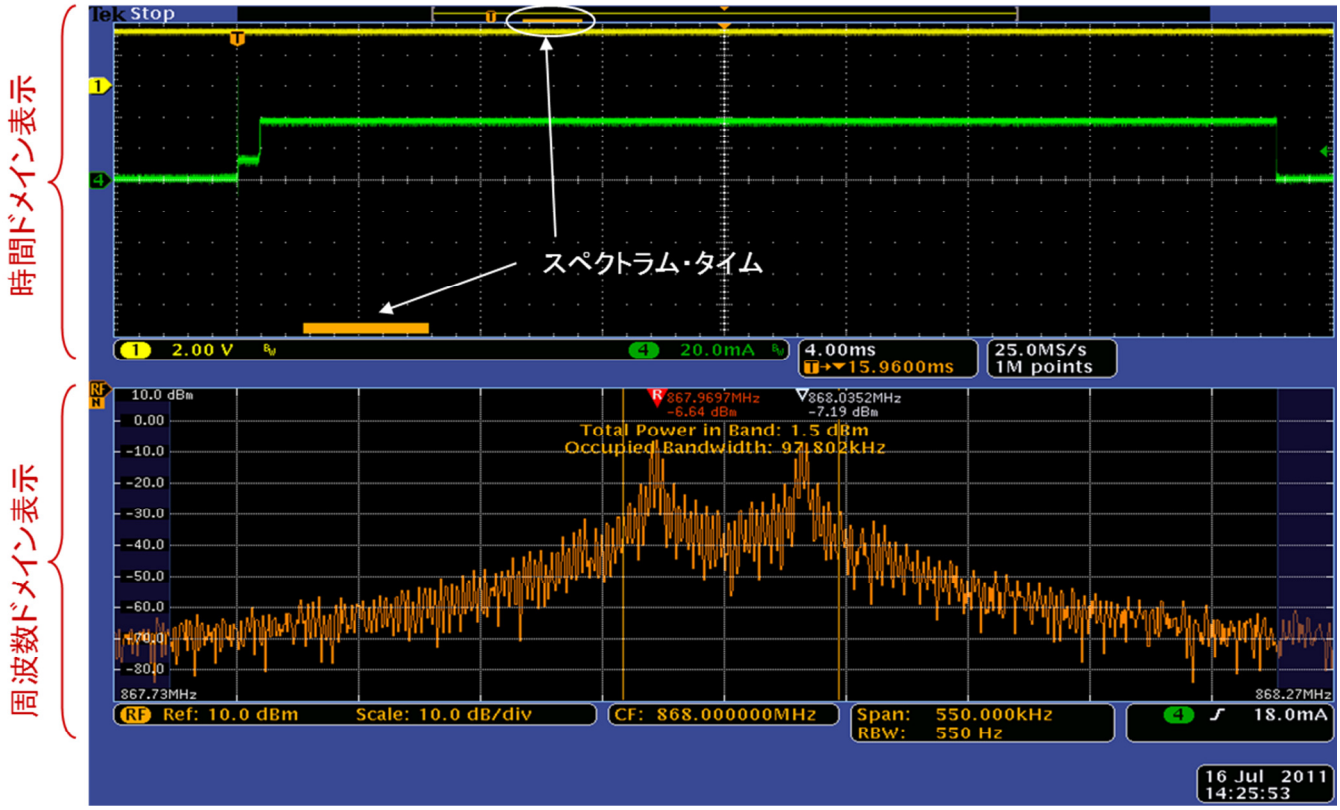


図 3. 電流プローブの信号(Ch.4)でトリガした、低消費電力無線を時間ドメインと周波数ドメインで表示

性能検証用の設定と測定

ETSI EN300 200 規格用の設定

一般に、送信電力は約 25mW に制限、バンドは、さまざまな規則によってセグメント化されます。多くのセグメントは最高 100kHz の占有帯域幅が可能であり、無線 IC は FSK 変調、5kbps、33kHz 偏移に設定されます。無線 IC の制約によっては、他の組み合わせが使用されることがあります。

低電力無線の時間ドメイン、周波数ドメイン表示

MDO4000 シリーズは、時間ドメインと周波数ドメインの両方が表示できます。

図 3 の例では、上半分に電源の電圧(Ch1、黄色の波形)と電流(Ch4、緑色の波形)が、従来の時間ドメインで表示されています。下半分には、時間相関のとれた RF ドメインの波形が表示されています。この例では、トランスミッタ出力はトランスミッタがオンした少し後で表示されています。

オレンジ色のバーは、取込んだ信号のスペクトラム・タイムが約 4ms であることを示しています。時間ドメイン波形と同じ時間スケールになっています。

トータル・パワーと占有帯域幅が、周波数ドメイン表示で測定されています。

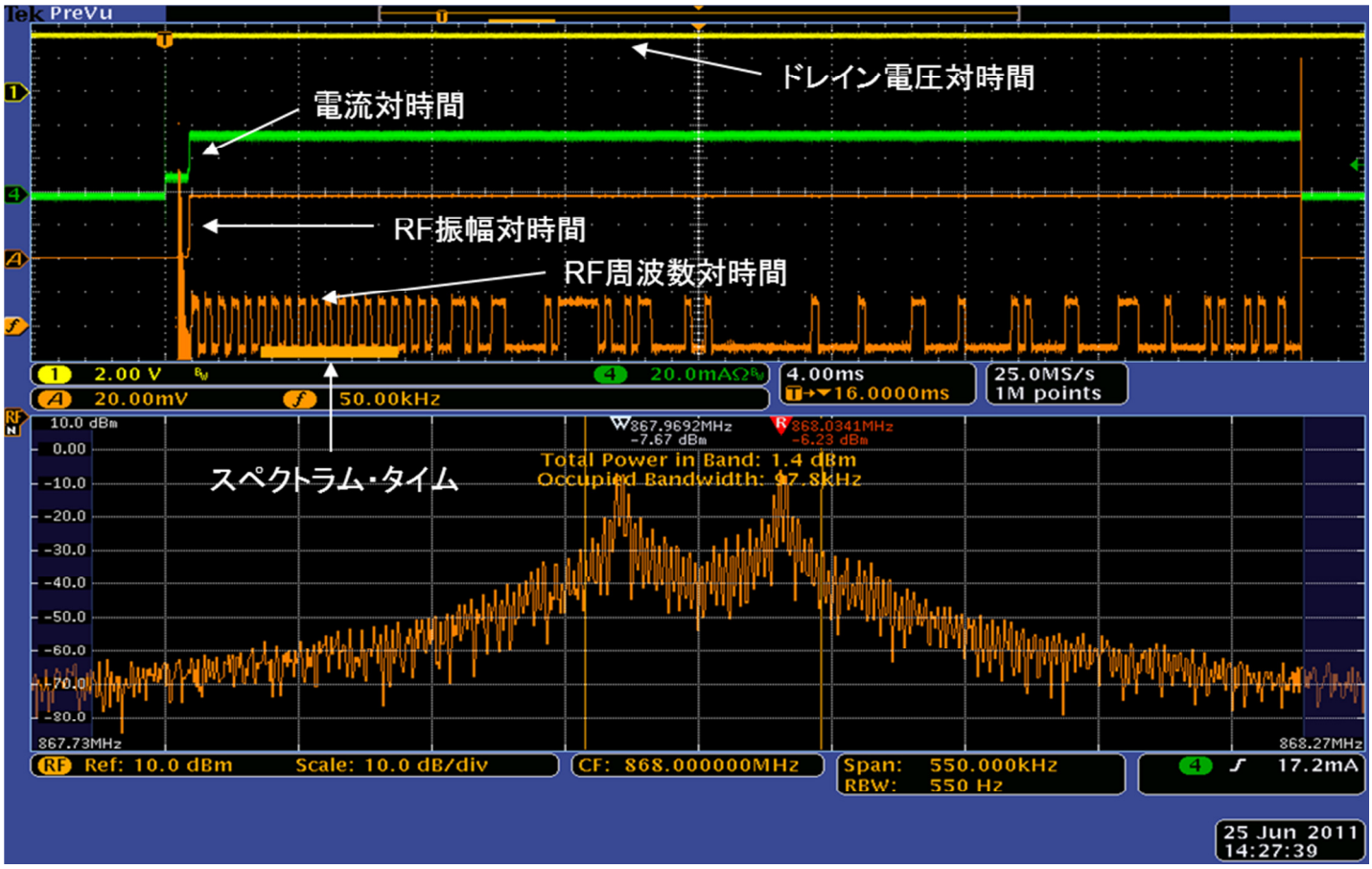


図 4. RF 振幅対時間と周波数対時間の波形は、時間ドメイン表示にオレンジ色の波形として追加表示できる。RF 周波数対時間の波形は、信号が FSK 変調信号であり、スペクトラム・タイムはこの FSK 無線のプリアンブル部分に置かれている

相関のとれた RF 振幅／周波数対時間の波形

RF 振幅対時間と周波数対時間の波形は、時間ドメイン表示にオレンジ色の波形として追加表示できます（図 4）。RF 周波数対時間の波形は、信号が FSK 変調信号であり、スペクトラム・タイムはこの FSK 無線のプリアンブル部分であることがわかります。分解能帯域幅（RBW）は、FSK 無線の占有帯域幅、RF ピーク・ディテクタによるバンドのピーク測定の両方を行うのに十分な信号取込みになるように設定します。

プリアンブルから測定した占有帯域幅は 98kHz であり、この FSK 信号の仕様に適合しています。ディスプレイ上半分には、モジュールに流れる電流の波形（緑色）と、モジュールの電圧波形（黄色）が表示されています。”A”のマークの付いた波形は、RF 信号の振幅です。IC がオンすると、まず数 mA の電流が流れます。

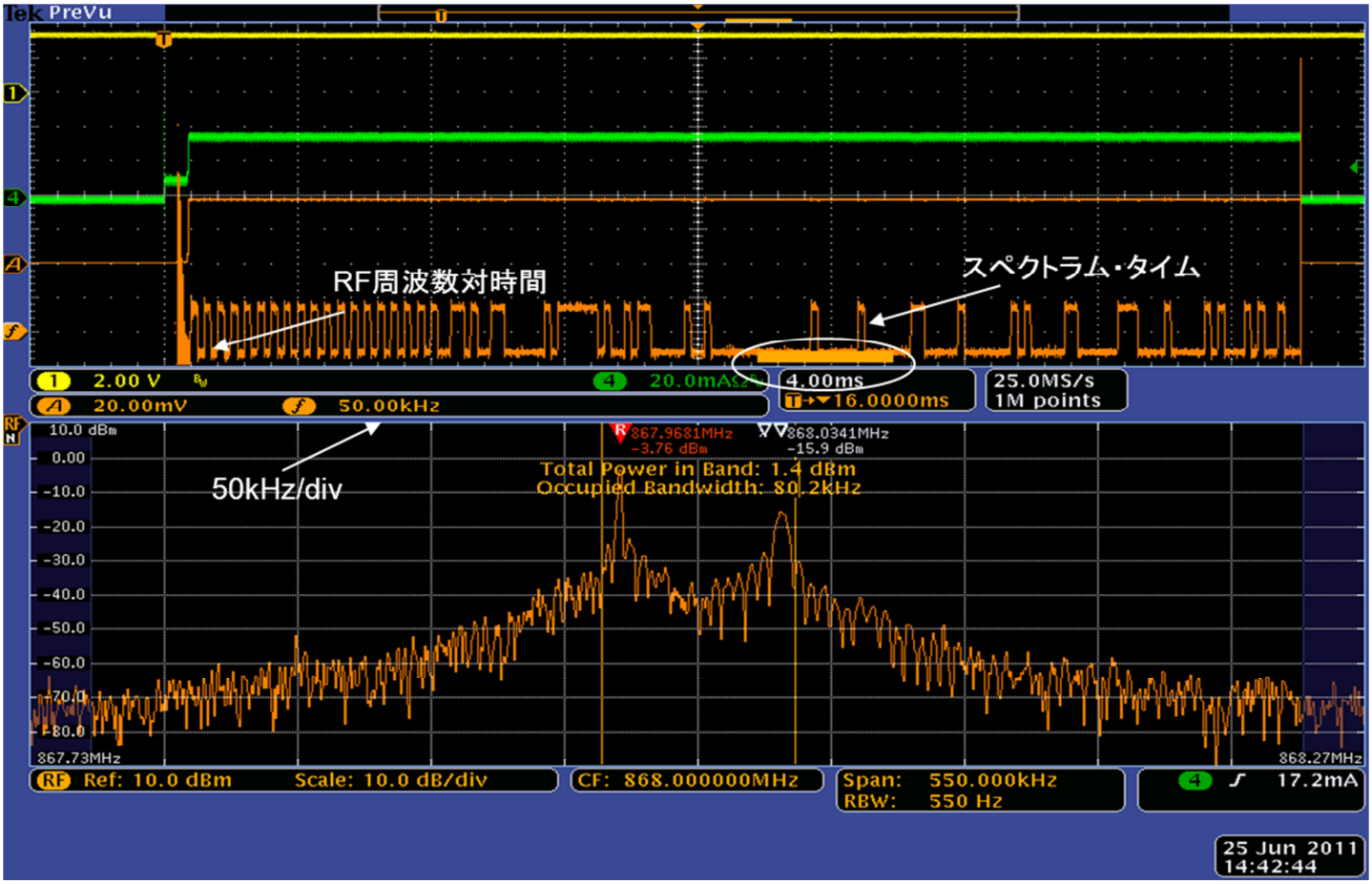


図 5. スペクトラム・タイムをパケット伝送の後に移動させ、ほとんどのエネルギーが2つの周波数の低い方にある状態

パケット伝送の後にスペクトラム・タイムを移動

図 5 は、オレンジ色バーのスペクトラム・タイムをパケット内の丸く囲まれた場所に移動しています。“f”のマークの付いたオレンジ色の波形は、信号の FSK 変調の周波数偏移を 50kHz／div で示しています。期待される±33kHz の偏移は、スペクトラム（周波数ドメイン）、時間ドメインの両方で確認できます。これが MDO4000 シリーズの強力で便利な機能です。

パケット内ではパワー出力は同じですが、FSK 変調の低周波キャリアにおいてより大きなエネルギーになっていることがスペクトラムからわかります。この機能は、RF 出力または変調におけるアベレーションの検出に使用できます。

MDO は、電源、変調、RF スペクトラムの時間相関をとることができます。これは、通常のオシロスコープ、スペクトラム・アナライザを別々に使用して確認するには非常に難しい作業になります。

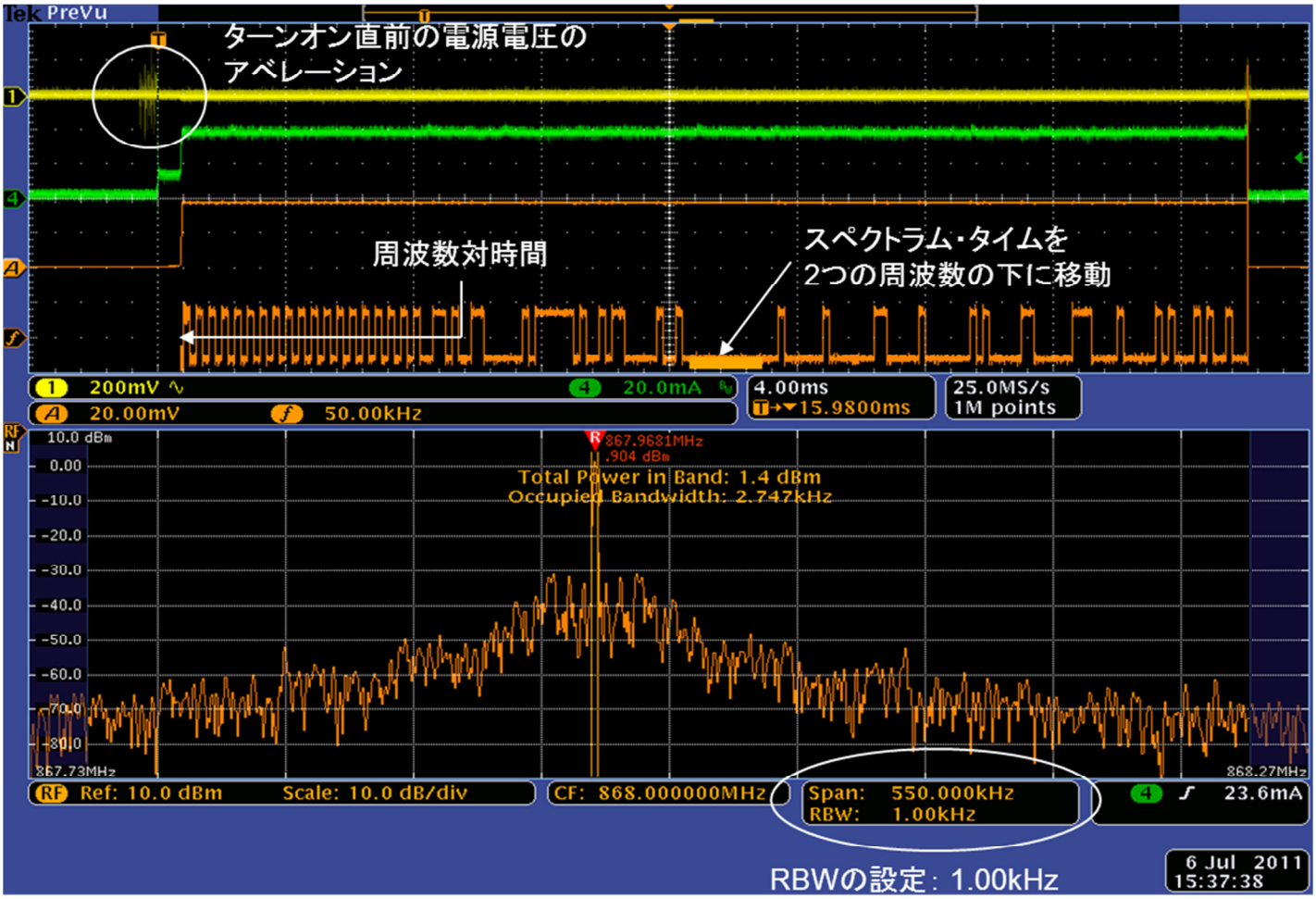


図 6. FSK 信号の一つの周波数のインターバルにおける RF スペクトラム

FSK 信号の単一周波数期間におけるスペクトラム

分解能帯域幅(RBW)の設定を変更すると単一周波数期間が表示されたときのスペクトラムが RF ドメイン画面に表示されます。

スペクトラム・タイムは、RBW の設定によりスケーリングされ、時間ドメイン表示上の任意の部分に移動させてスペクトラムを表示することができます。図 6 の例では、分解能帯域幅は 550Hz から 1kHz に変更され、図 5 に比べて短い期間(約 2ms)のスペクトラム・タイムが表示され、ただ 1 つの周波数が RF ドメイン上に表示されています。また、Ch1 の電圧測定が 200mV/div に変更され、電流立上り時にアベレーションが確認できます。

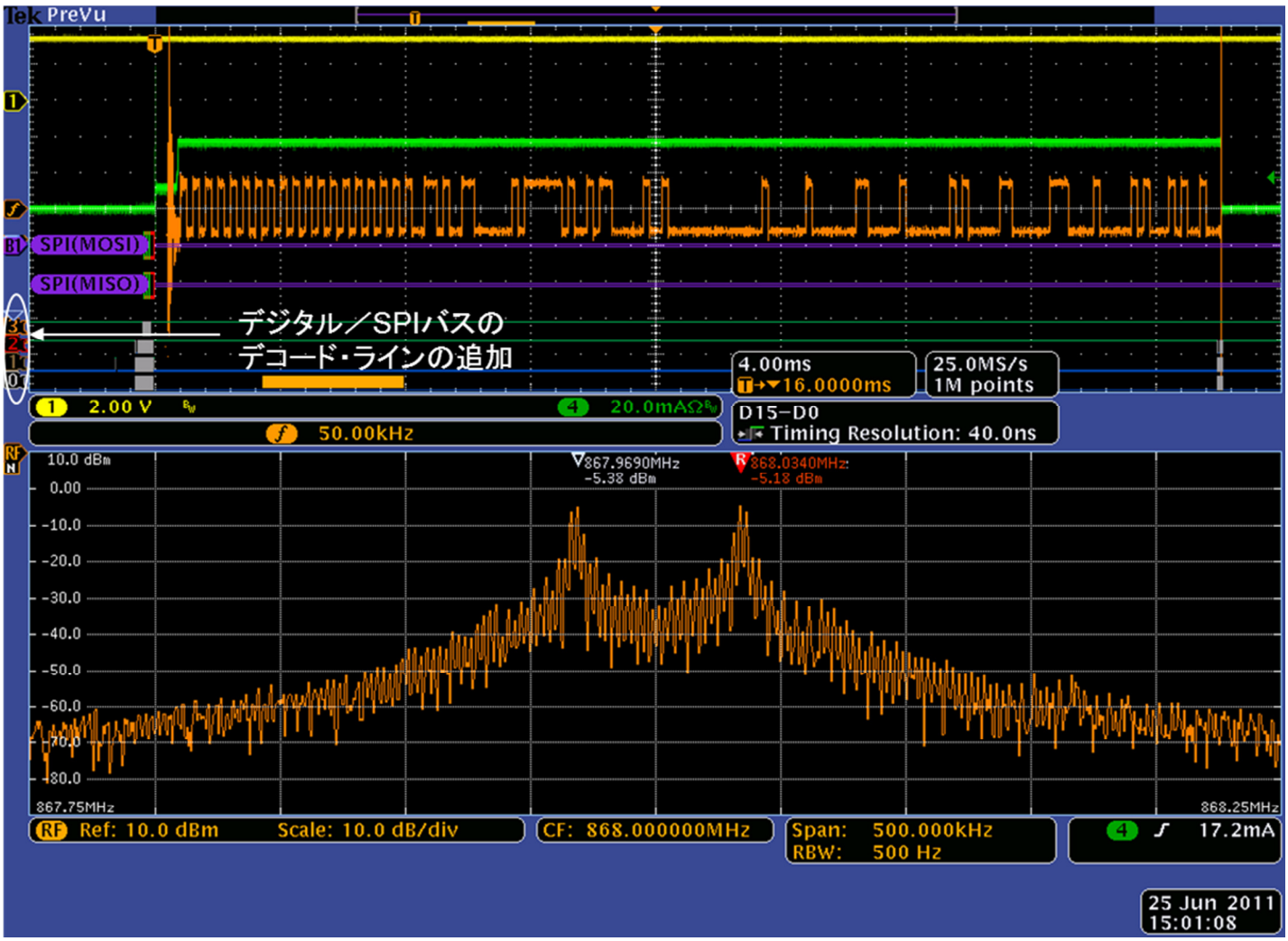


図 7. 同じイベントによるアクイジションで SPI のデコード・データ(MOSI と MISO)を表示

SPI バスのデコード表示

マイクロコントローラから無線に送られるコマンドも観測できます。図 7 の例では、無線モジュールと SPI バス間にデジタル・プローブを接続し、SPI バスのデコード機能をオンにしてコマンドを確認しています。

MDO は、I2C、CAN、RS-232、USB、Ethernet など、数多くのシリアル・バスをデコードして表示できるため、ほとんどのコントロール・バスがモニタでき、オシロスコープでトリガすることもできます。

図 8. MDO4000 シリーズミックスド・ドメイン・オシロスコープのズーム機能を使ってデコードした SPI データとデジタル・データを表示

無線モジュールに送られるデコードされた SPI データ

MDO の Wave Inspector のパン／ズーム機能により、伝送される直前のデコードされた SPI データをズーム表示します。

図 8 の時間ドメイン(画面の上段)の下の部分には、SPI のバス・データの表示のほか、データのデジタル値も表示されています。

”f“ (周波数 vs.時間)の波形は表示されていません。これらは、時間ドメインの上の部分にある全体表示を拡大したもので同様の内容を表示しています。

スペクトラム・タイムには、プリトリガを使用して RF がターンオンする前後のデータも表示可能です。RF のターンオン、ターンオフを含んだスペクトラム・タイム(時間間隔)の RF スペクトラムを表示する場合、その結果としてスペクトラムのレベルが低下する場合があります。

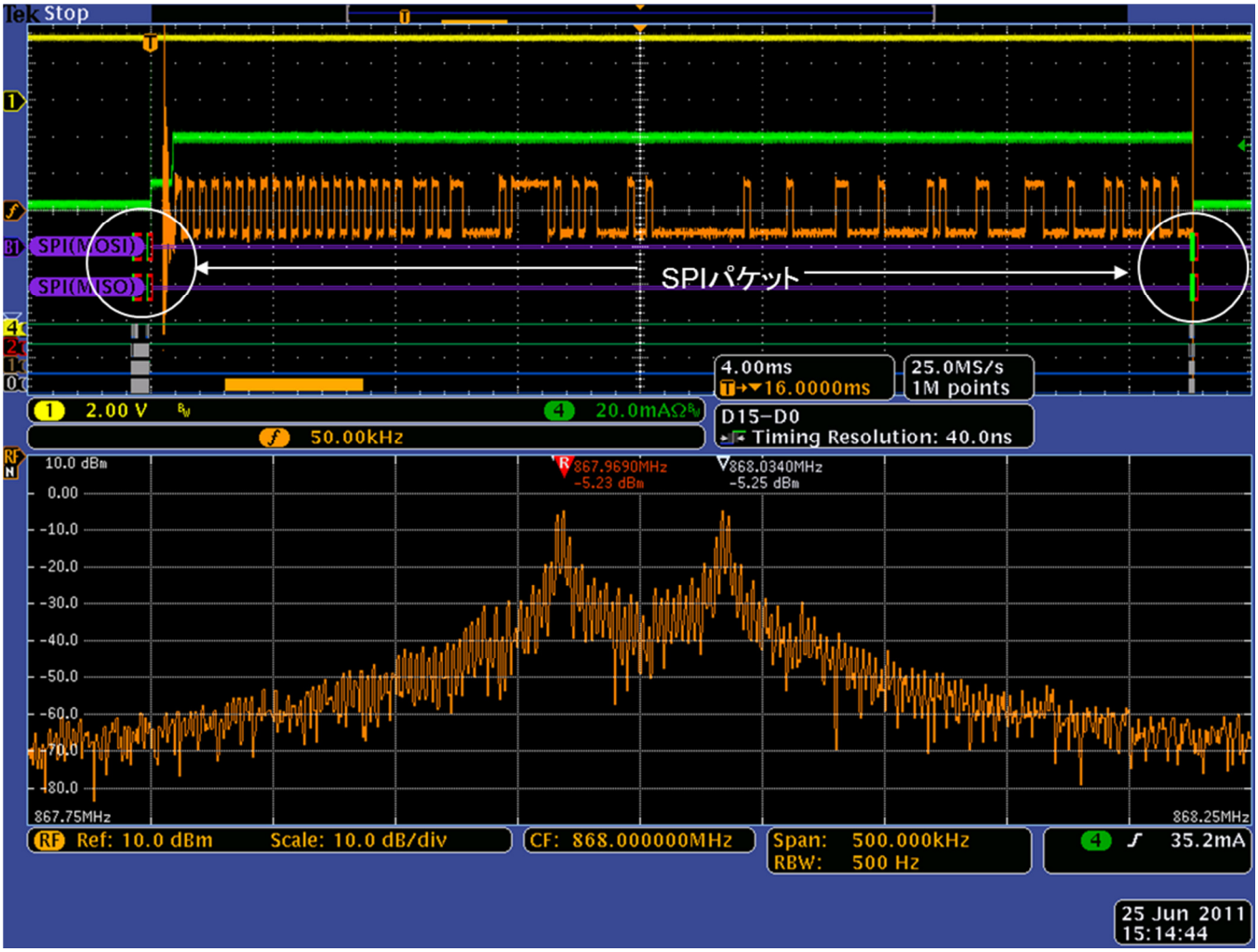


図 9. SPI のデジタル・コマンドとスペクトラム表示

SPI デジタル・コマンドによるスペクトラム

図 9 の例は、無線モジュールが SPI のパケットにより通信を開始してから終了するまでの様子を表しています。SPI コマンドはデコード表示が可能です。

図 10. デコードされた SPI コマンドと SPI のデジタル・データ

デコードされたコマンドとデジタル波形

図 10 の例は、Wave Inspector のパン／ズーム機能を使用して、General コンフィグレーション・レジスタのリードからライトまでのデコードされたコマンドを表示しています。SPI（MOSI）の最初の 2 つのバイトは汎用コンフィグレーション・レジスタが 30 の値を返しています。2 つ目のバイトの 00 30 はアドレス 0 を設定し、868MHz バンドをスタンバイ・モードにしています。

これは強力な機能であり、無線 IC が正しくセットアップされていることが確認できます。

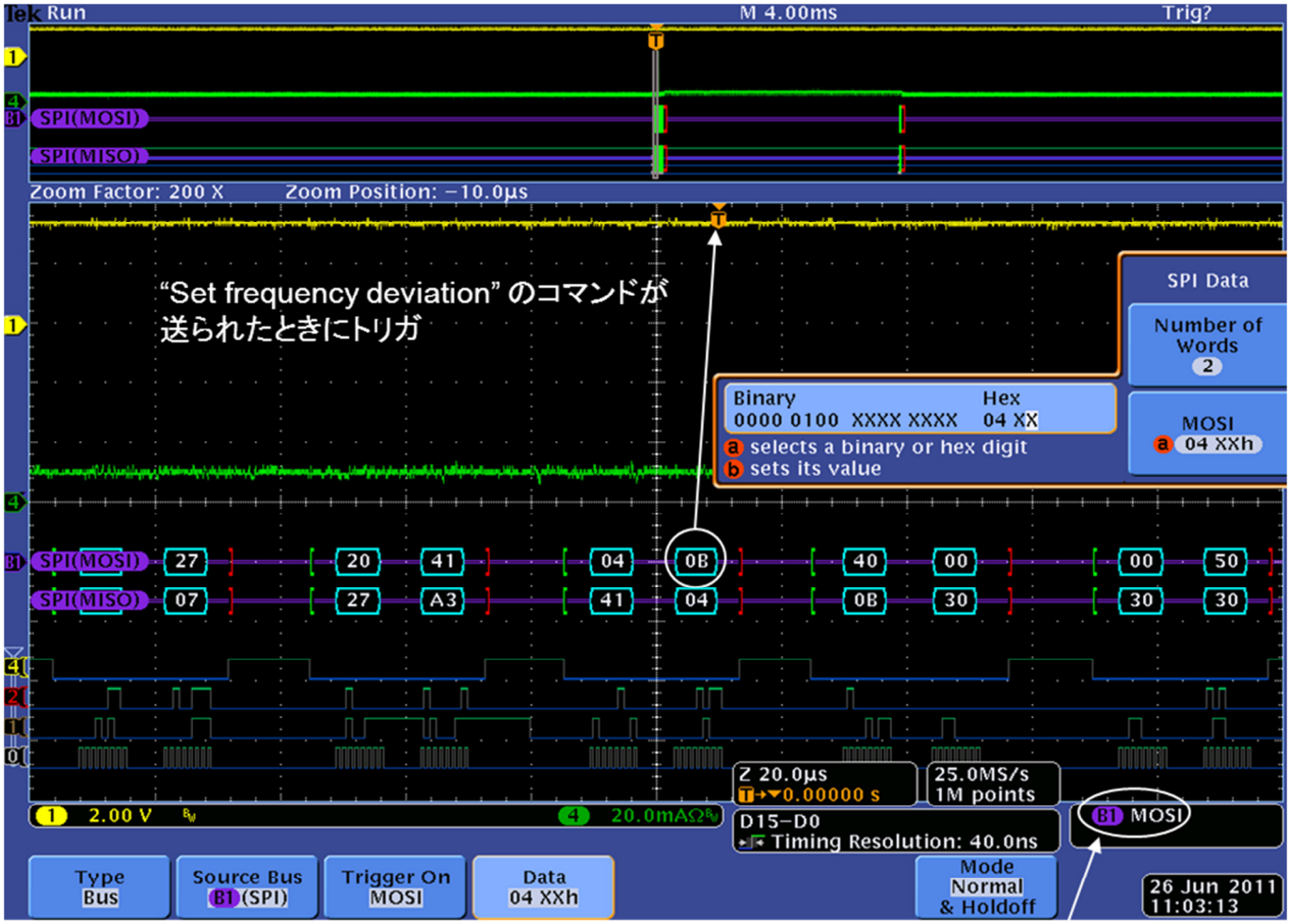


図 11. MOSI (B1)の{04 XX} 周波数セット・コマンドでトリガ

SPI (MOSI) デコードに
トリガするよう設定

周波数偏移コマンドにトリガ

MDO4000 シリーズは、SPI コマンドにトリガすることもできます。図 11 の画面中央には、04 0B のコマンドが表示されています。04 のコマンドは、トランスミッタの周波数偏移を設定します。SPI トリガは、最初のバイトがコマンドとなる 2 バイト・ワードにトリガするように設定されています。FSK 伝送信号で±33kHz 偏移となる値が表示されています。

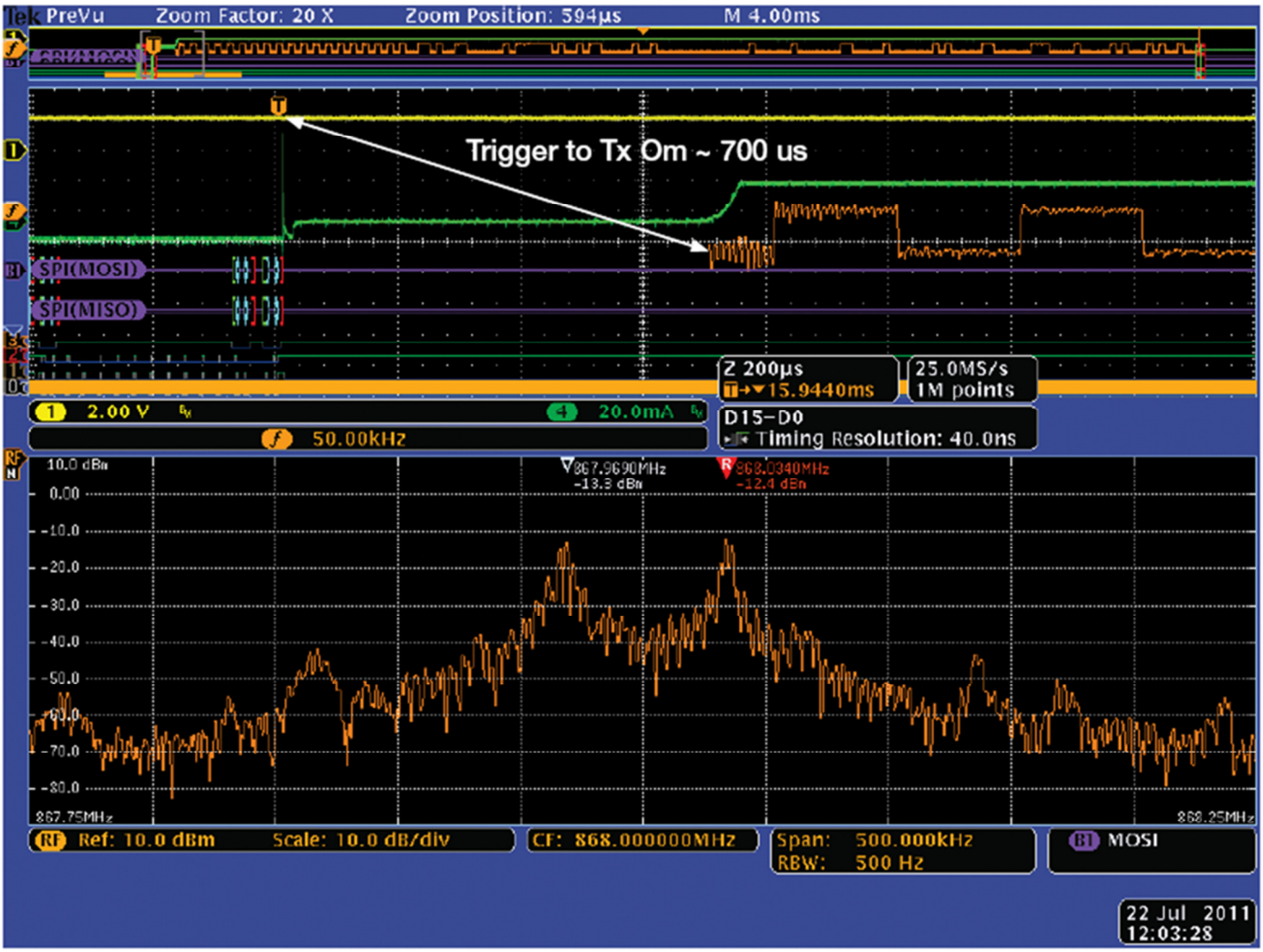


図 12. MOSI コマンドでトリガをかけ周波数対時間を表示した例

MOSI コマンドにトリガし、周波数対時間の波形を観測

MDO4000 シリーズの特長がこのスクリーンショットによく表れています。SPI（MOSI）のトリガ条件の後、水平軸設定を 200 µs/div に変更し、ズームアウトして SPI コマンドの影響を測定します。

Ch4（緑の波形）には電流が測定され、オレンジ色の周波数対時間の波形は 700 µs 後に RF 信号が現れていることがわかります。このように、SPI コマンドから RF イベントまでの遅れが、一つのシンプルな表示でわかります。

900MHz 狭帯域における設定

FCC rule 15.247 では、広い帯域幅でデータを伝送し、屋内の距離がとれるように十分な電力で伝送します。高速なデータ伝送は可能ですが、有効受信感度は低下します。この広帯域を実現するため、データ・レートは 200kbps に、偏移は±200kHz になっています。

また、スペクトラムの任意の帯域幅 3kHz の電力ピークには制限がかかっています。

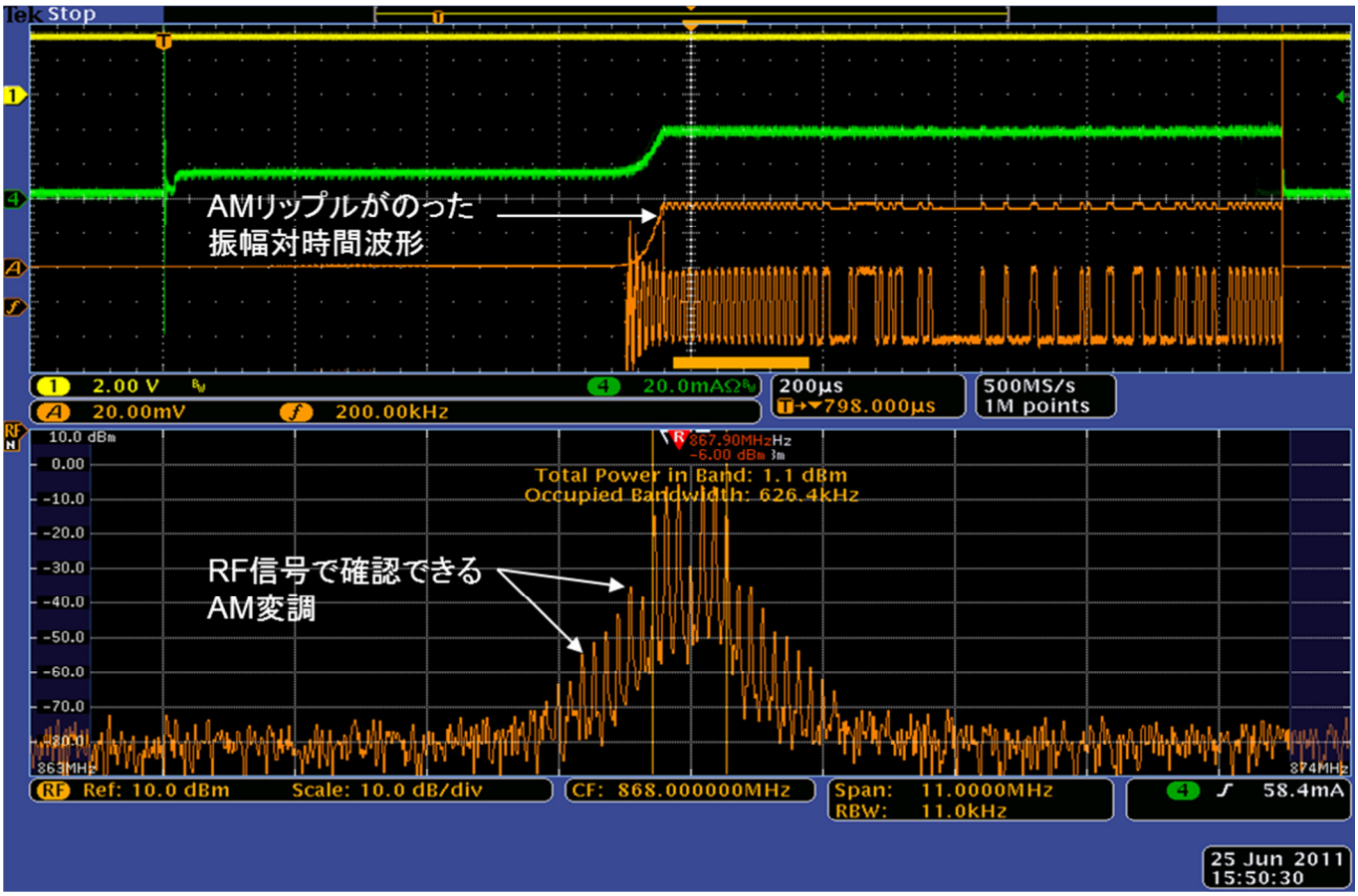


図 13. プリアンブル伝送中の広帯域スペクトラムと北アメリカの免許不要バンドを測定

900MHz バンドにおけるワイドバンド・スペクトラム

図 13 は、FCC に準拠したものと同じ設定による取込み例です。

都合により 868MHz で動作していますが、運用時は、902～928MHz バンドに調整し、動作させる必要があります。

占有帯域幅は 500kHz 以上であり、FCC の規制には適合しています。"f"の時間ドメイン対時間の波形は、予定通り±200kHz になっています。

"A"の振幅対時間の波形は、広い偏移によってわずかに振幅変調していることがわかります。振幅変調は、スペクトラムの結果からも容易に理解できます。FSK 信号の振幅変調は望ましくないのですが、この程度であればレシーバのデコードにおいて問題にはなりません。また、電流(緑の波形 4)と RF 振幅(波形 A)は連動しています。

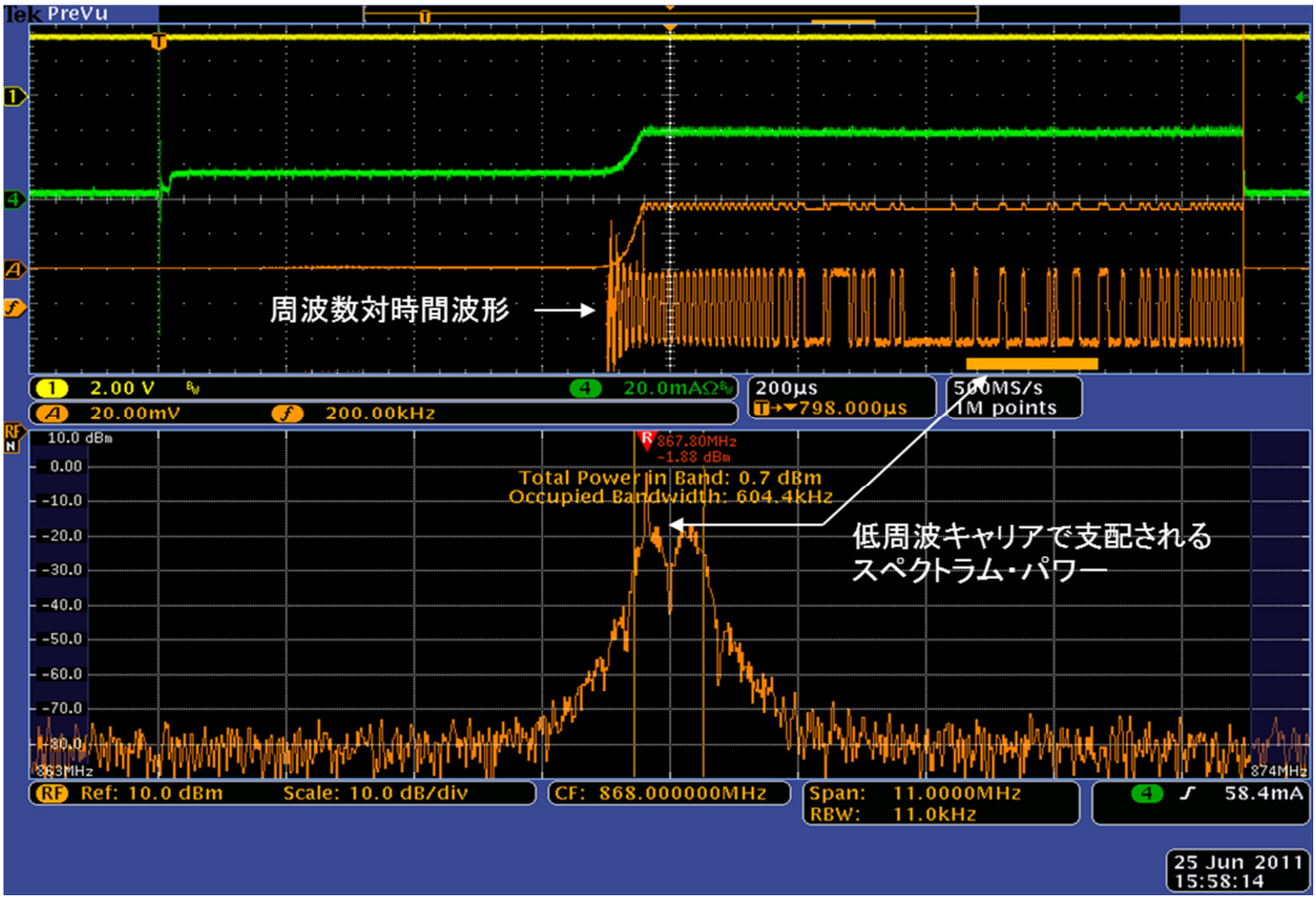


図 14. データ伝送中の広帯域スペクトラムの測定

データ伝送時のワイドバンド・スペクトラムと測定

図 14 は図 13 と同じ無線通信におけるデータ部分のスペクトラムです。占有帯域幅はプリアンブル時よりも狭いですが、それでも規制に適合しています。

スペクトラム表示で見られるように、低周波キャリアにはこの特定のデータが占められています。

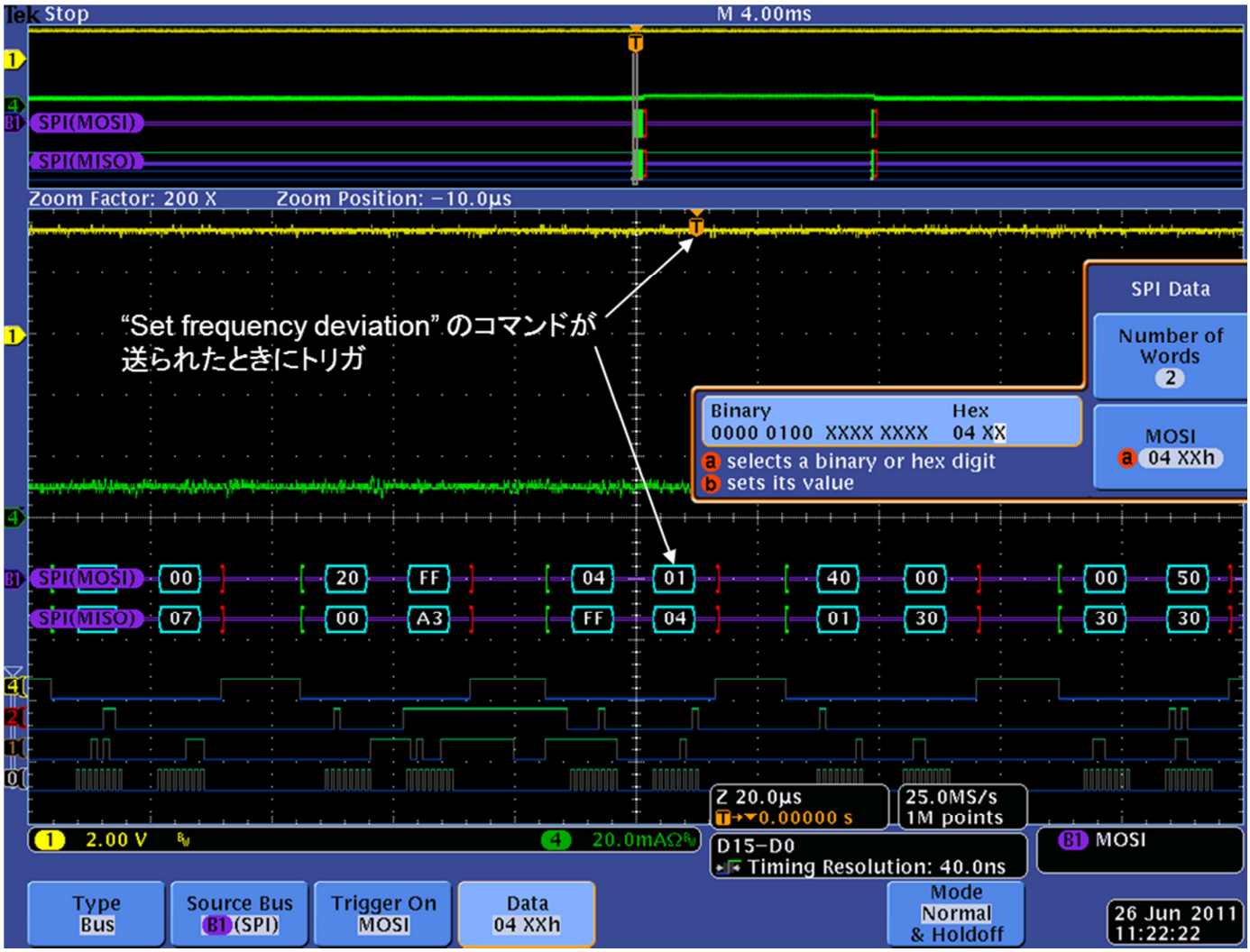


図 15. MOSI(B1)の{04 XX}周波数セット・コマンドでトリガ

偏移コマンドにトリガ

図 15 のスクリーンショットは、先の 33kHz 偏移と同様、同じ SPI(MOSI)設定の周波数偏移コマンドにトリガしたものです。偏移の値 01 は、この無線 IC で可能な上限 200kHz に相当します。

まとめ

組込まれた無線 IC やモジュールは、無線システムを構成する上で、アプリケーション独自の様々な要件である地域の規制、周波数、電力レベル、占領帯域幅などに柔軟に対応します。これらの無線 IC とモジュールには、柔軟性を得るため、通常、多数のレジスタ設定が必要です。エンジニアにとって、RF の操作だけでなく、送信されるコマンドとデータが正しく伝送されていることを確認することは重要です。

テクトロニクスの MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープは、これらの測定に最適な測定環境を提供します。

Tektronix お問い合わせ先：

日本
お客様コールセンター
0120-441-046

地域拠点
米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-54247900
東南アジア諸国／豪州 65-6356-3900
中国 86-10-6235-1230
インド 91-80-42922600
欧州／中近東／北アフリカ 41-52-675-3777
他 30 カ国

Updated 9 October 2009

詳細について

当社は、最先端テクノロジに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ（**www.tektronix.com/ja**）をご参照ください。

TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。Microsoft、Windowsは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。Dolbyは、米国Dolby Laboratories, Inc.の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

〒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
テクトロニクス お客様コールセンター TEL:0120-441-046（ヨッ良い オシロ）
電話受付時間／9:00～12:00・13:00～19:00（土・日・祝・弊社休業日を除く）

www.tektronix.com/ja

■ 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。
© Tektronix 2012年1月 48Z-26921-0