

パワーアンプのRFFE コマンド同期試験



端末の無線周波数 (RF) フロントエンドは、ユーザの使い勝手を向上させるべく進化し続けています。RFフロントエンドには現在、パワーアンプ、アンテナ、チューナ、フィルタ、スイッチなど10 ~ 20のコンポーネントが含まれます。Mobile Industry Processor Interface (MIPI) RFFE 制御インタフェース規格は、RF フロントエンド内で多くの複雑な機能をより効率的に制御するために、無線装置内で広く使用されています。本インタフェースは、単一 RFFE バスを使用し、最小限のワイヤとピンを使って、マルチモード、マルチバンド、複数のアンテナすべてをサポートすることでパフォーマンスを向上させます。本インタフェースは、個々の設計からインテグレーションまでを簡素化し、さまざまなベンダによって提供されるコンポーネントの相互運用性を促進するために、あらゆる種類のRFFE コンポーネントに適用できます。

RFFEインタフェースの重要な機能の1つに、パワーアンプ・ゲインの制御、およびRF信号の切り替えがあります。最適化された操作を保証するために、特定のRFFEコマンドに関連する信号の応答時間と特徴を理解することが重要です。パワーアンプに関するRFFEコマンド同期試験は非常に重要です。測定システムはRFFEプロトコル・イベントでトリガし、信号のRFパワー包絡線を測定し、スペクトラムを分析する必要があります。ローデ・シュワルツが提供するデジタル・オシロスコープR&S®RTO2000には、こうした測定に適したリアルタイムのシリアルデータ・トリガとデコードに加えて、スペクトラム分析やRMS検出を含む、強力な解析機能が搭載されています。

RFFEの背景

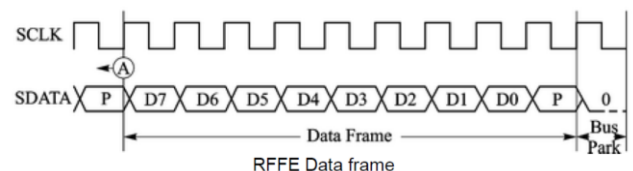
RFFEインタフェースは、3GPPに非対応の無線インタフェースはもとより、LTE、E-GPRS、UMTS、HSPAなど、既存の3GPP規格にも対応するよう設計されています。これは、規格に準拠した無線周波数集積回路 (RFICs) とフロントエンド・モジュール (FEMs) 間で、インタフェースレベルで相互運用性を実現しつつ、効率的で柔軟性があり、拡張可能で、重複するシステム設計で多くのバリエーションに対応することをねらいとしています。パワーアンプ (PAs)、低ノイズアンプ (LNAs)、フィルタ、スイッチ、パワーマネジメント・モジュール、アンテナ、チューナ、センサを含む、さまざまなFEMが用途に応じて開発されています。

RFFEはRFデバイスを制御するために、物理プロトコル層と上位プロトコル層両方に関する要件があります。これは最速で26 MHzのマスタークロックを備えた、コンパクトな2線インタフェース (SCLK、SDATA) を特徴としています。データは1つのバスマスタにつき、最大15のスレーブ・デバイス間で双方向に転送されます。概要を表1にまとめ、各データフレームを図1に示します。

表1. バスの概要

仕様	MIPI RFFE 1.10
プロトコル	クロック・ラインのシングル・エンド・シグナリングおよび双方向データ・ライン、ポイント・ツー・マルチポイント構成
バス速度	32 kHz ~ 26 MHz
電圧	1.2 V and/or 1.8 V
データ・エンコーディング	NRZ
クロック	データ・ラインとは分離
エンディアン	MSB (Most Significant Bit) first

図1: MIPI-RFFE信号の特徴



プロトコルの1つの特徴は、SDATAレシーバがSDATA入力でグリッジ・リジェクション・フィルタを使用できることです。モバイル業界向けのインタフェース仕様を開発する国際組織であるMIPIアライアンス (<http://mipi.org/>) は、2015年3月に端末向けMIPI RFフロントエンド制御インタフェースのバージョンを更新しました。MIPI RFFE v2.0では、以下の5つの機能を拡張しました。

- 1 バス動作周波数の拡張: データ速度を加速するため、特定の時間にバスで転送可能なコマンド・シーケンス数が倍増した。
- 1 同期読み取り: バス読み取りの範囲を拡大し、拡張された周波数を使用可能にするために、スレーブ・デバイスによるバス上のデータ伝播の種類が増加した。
- 1 マルチマスタ設定: 搬送波集約システムアーキテクチャと複数のトランシーバの使用やデュアルSIM設計をサポートした。
- 1 中断可能なスレーブ機能: バス上でマスタ・コントローラに対し、スレーブ・デバイスのクイック・ポーリング方式が可能に。
- 1 新しい専用レジスタ: ハードウェアおよびソフトウェア開発の効率が向上した。

R&S®RTO2000

測定の課題

通常のRFFE測定は、ゲイン・シフトの後、パワーアンプ（PA）に関する設定時間について行われます。RFFEコマンドがコントローラから出力され、PAによって解釈され、今度はPAがそれに従って、ゲインを調整します。重要な測定項目としては、コマンド受信から最終パワーレベルのパーセンテージ内に電力が安定するまでの時間があります。これは、ゲイン調整の量（多いほど難しい）さらに、信号の周波数など、多くの他の条件によって変わります。

図 2は測定の概略図を表します。

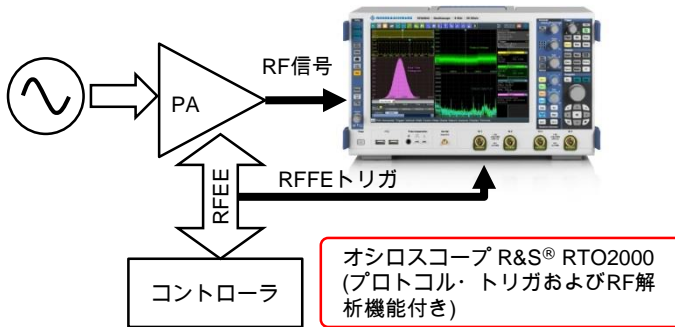


図 2: RFに対するRFFEの応答測定に関する設定

多くのシリアル・バス・アーキテクチャは、より少ない信号線を使用して情報を送信するために、抽象化層やプロトコル・スタックのコンセプトに依存しています。オシロスコープはアナログ情報（物理層）を捕捉するため、プロトコルを表示するためのルート情報を含むことが多くあります。

図 2のオシロスコープR&S®RTO2000には、RFFE信号をデコードし、パワーアンプからのRF信号の捕捉をトリガできる、プロトコル・トリガ（オプションR&S®RTO-K40）が用意されています。さらに、信号をデジタル化し、パワー包絡線やスペクトラムを検出することができます。

RFFEプロトコル・トリガ

一般的にオシロスコープの利点の1つは、特定の信号特性でトリガできることであり、これによって信号の特定の部分を捕捉し、測定できます。最新のオシロスコープはシンプルなエッジから、パルス幅やスルー・レートなど、より複雑な特性まで、幅広い信号特性でトリガできます。さらに1歩進んで、一部のオシロスコープでは特定の信号をシリアルデータ・ストリームとして解釈し、ビットを検出して、これをトリガ・イベントとして使用して、プロトコルを解釈できます。

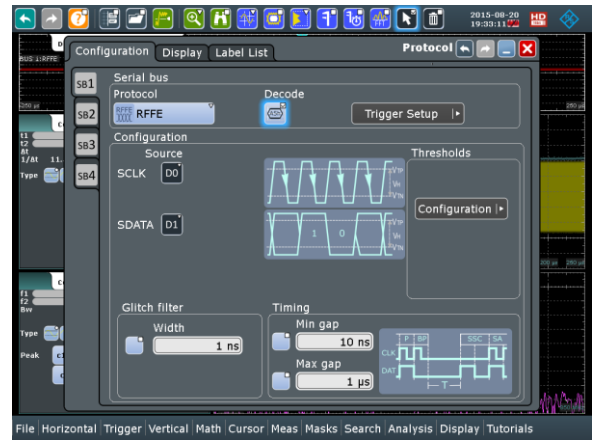


図3: R&S®RTO2000オシロスコープのRFFEデコード設定

図3は、ローデ・シュワルツのR&S®RTO2000デジタル・オシロスコープにおけるRFFEプロトコル向けの設定メニューを表しています。アナログ入力の2つのチャンネル、またはMSO（ミックスド・シグナル機能）の2つのチャンネルを使用してバスを測定します。図3のメニューから、閾値レベルの設定およびグリッジの検出が可能になります。特にグリッジの検出機能は、ノイズにおいて論理レベルの誤った検出を防ぐための重要な機能です。デコードされた信号はアナログ信号と時間同期されて表示されます。一旦定義してしまえば、シリアルバスはトリガ・ソースおよび定義されたイベントとして使用できます。

RFFEトリガ設定を図4に示します。この例では、スレーブ・アドレス[hex]Fで、データ[hex]02を捕捉するためにトリガが設定されます。

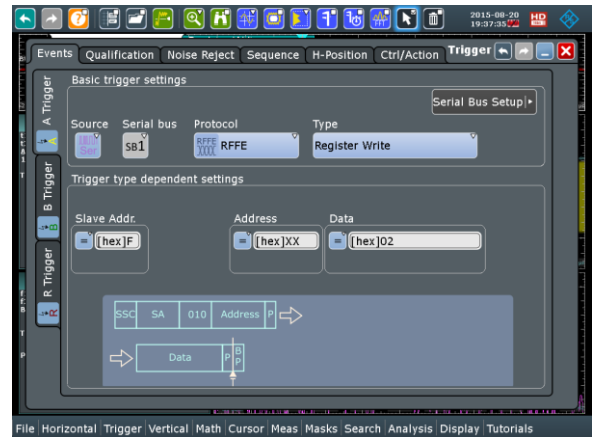


図4: RFFE トリガの設定

RFパワー包絡線の検出

信号のパワーを測定するために、多くの手法が使用されてきました。ピークパワー・メータはパワーレベルを測定する最も正確な方法ですが、これらのメータはRFFEトリガ機能を持たないため、タイミング測定ができません。信号パワーを検出する一般的な方法は、ダイオードの検波器を使用する方法です。検波器は基本的に、RF搬送波を信号振幅の2乗に比例した電圧へ変換し、その後オシロスコープで検波器からの電圧を測定します。

R&S®RTO2000

二乗検波器はこの用途において効果的ですが、捕捉した波形を演算することで二乗検波と同じ値を検出することもできます。R&S®RTO2000などの高帯域幅オシロスコープは高速ADCを使用して、RF信号波形を直接捕捉します(R&S®RTO2000の場合、このサンプリング・レートは1秒あたり10 Gサンプル)。パワー包絡線は搬送波よりかなり低い速度で変化するため、ADCからのサンプル数を減らすデシメーションというプロセスを使用して、ADCのサンプリング・レートを下げることができます。デシメーション・プロセスは例えば平均化や、RMSなどの演算を用いることで実行できます。

例えば、100を越えるサンプル信号のRMS値を計算することで、サンプリング・レートは1秒あたり100 Mサンプルに低下し、波形はRF信号のRMS電圧と同等になります。パワーはオシロスコープの入カインピーダンス50 Ωで換算することで、波形がスケールされて表示されます。図5は、サンプルおよびRMS検出を使用して表示されたパルスRF搬送波の例を示します。前者は搬送波のピーク対ピークレベルを表し、後者はRMS包絡線を表します。この場合のRMSトレースのピーク測定値表示は60 mV、すなわち0.072 μWまたは-11.4 dBmとなります。信号ソースパワーは-10 dBmに設定されています。

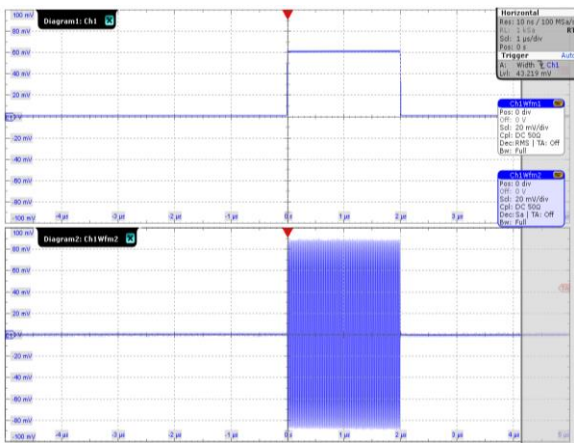


図5: サンプル/RMS検波で捕捉されたパルスRF搬送波

スペクトラム測定

パワー包絡線のタイミングの理解と併せて、スイッチング中のRF信号のスペクトラムを知ることは重要です。今日の密集したRF環境で、他のレシーバと干渉する可能性がある帯域外スプリアス信号を生成することは望ましくありません。オシロスコープはFFTを使用して、捕捉した信号のRFスペクトラムが測定できます。このメリットは、RFFEバスを含む他の信号と同期しているRFスペクトラム信号を観測することで、システム全体の動作を把握できることです。FFTゲーティングと呼ばれる手法を使用して、ゲートによって特定された時間において、重点的にスペクトラム測定をおこなうことができます。

ゲーティングの例を図6に示します。パルスRF搬送波はウィンドウ上部に表示され、特定のゲートに関連したスペクトラムが、それぞれその下に表示されます。左側はパルスが存在しないRF波形の一部分にゲートがある一方で、右側はRFパルスにゲートが設定され、その内部のスペクトラムが表示されています。

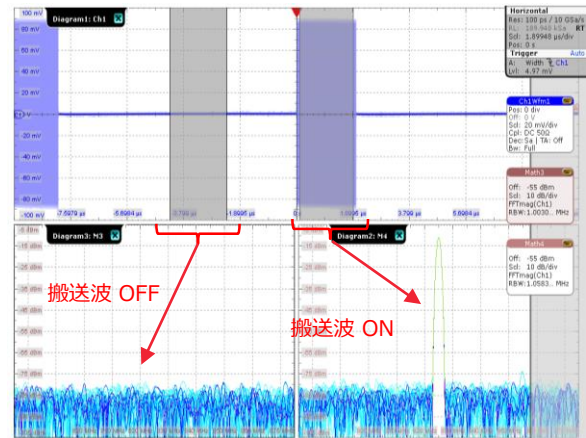


図6: 左ゲート = 搬送波 OFF、右ゲート = 搬送波 ON

R&S®RTO2000に搭載されているFFT機能には、さまざまな特長があります。通常のオシロスコープは、所望する周波数分解能によって確定された信号波形についてFFT演算をおこないます。例えば、100 kHz分解能の帯域幅は100 μsec (実際にはウィンドウのため、20 μsec) の捕捉が必要です。スイッチング・イベントに必要な捕捉時間が例えば、1 msecとすると、波形の10%のみが使用されます。

ここで、通常のオシロスコープでは、すべての波形データを使用してFFTをおこなうため、分解能が1 kHzに設定されています。これによって2つの問題が生じます。この計算には10xのデータサンプル数が含まれ、スペクトラムが計算されている間はゲート測定をおこなうことはできません。より高度なオシロスコープを使用することで、ユーザは表示された波形時間に依存しないで、分解能を設定できます。時間に余裕がある場合、複数のFFTを波形のサブセクションで計算し、すべてを重ねてスペクトラムを表示できます。

測定の例

次の測定例は、図2で表示された設定を使用します。試験対象のデバイスはRFFE信号によって制御されているパワーアンプ (PA) で、スイッチをオンに切り換えることでパワーが上昇します。ローデ・シュワルツのデジタル・オシロスコープR&S®RTO2000はRFFE信号のクロック線とデータ線をそれぞれ観測するために、MSOモジュールのデジタル信号線D0とD1を使用して、RFFEクロック線とデータ線を観測するように設定します。PAが「オフ」に設定されている状態で、PAはオンに切り換えるよう命じられ、オシロスコープは、データ値 [hex]x02がRFFEバスのスレーブ・アドレス[hex]0xFに送信された時にトリガするように設定します。

R&S®RTO2000

RF出力はR&S®RTO2000のチャンネル1 に接続し、スイッチング速度を観察できるように、時間軸を500 μsecに設定します。図7は、-10 dBmの搬送波（CW）入力信号に関する測定結果を表しています。グリッド上部は[hex]02のトリガ値が見える、デコードされたRFFEコマンドを示します。グリッドの上部に三角で示されたトリガポイントは、デコードされた値に一致することを注目してください。グリッドの中央は 搬送波のパワー包絡線を計算したRF搬送波と演算トレースを示します。トリガ・ポイントはこのグリッドにも表示されます。演算トレースに2つのマーカがあり、これはPAをオンに切り換えた前後のパワーを示します。グリッドの左の測定値表示は、130 nW と 516 uWでのそれぞれの値を示します。グリッドの下部はトリガ（RFFEコマンドの受信）から 86.5 usポイントにおける、搬送波のパワー・スペクトラムを示します。ピーク時のマーカは-2.87 dBm、または500 uWのパワーレベルを表します。

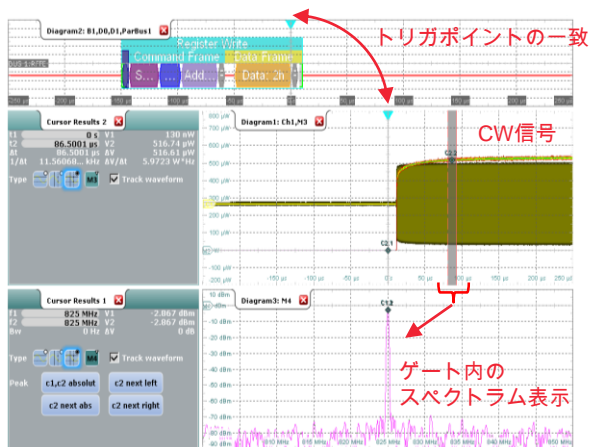


図7: PAによるCW信号のタイミングとスペクトラム測定

同様の設定が、以下の図8で測定されています。この場合、信号はPAに適用されたLTE 搬送波です。グリッド下部のスペクトラムはトリガ（これも、デコードされたRFFE コマンド）から 44 μs のポイントで測定されています。

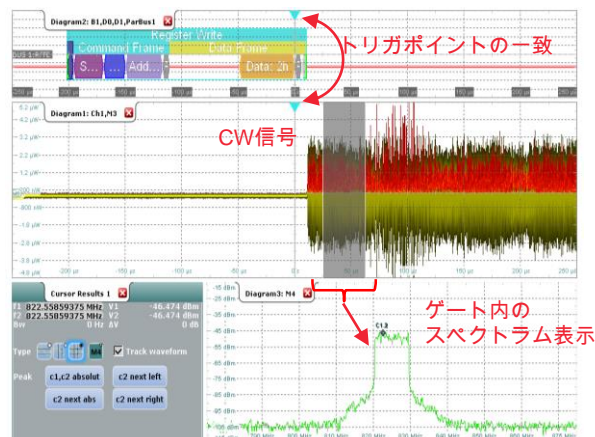


図8: LTE 信号によるPAの応答時間とスペクトラム測定

まとめ

Mobile Industry Processor Interface (MIPI) RFFE 制御インタフェース規格によって、メーカーはより簡単に、拡張可能なソリューションを標準化することができるようになります。これにより、製品の開発期間が短縮され、新製品の市場投入時期を早めることができます。さらに、データ速度の高速化や接続クオリティの向上など、エンドユーザのニーズに合致した製品開発を行うことができます。

これまでご説明してきたように、デジタル・オシロスコープR&S®RTO2000と、オプションR&S®RTO-K40 MIPI-RFFEシリアル・トリガおよびデコーディング機能を使用することで、RFFEコマンドと同期した、RF信号の応答時間やパワー・スペクトラムの評価を同時に行うことができるため、PAの高い性能を引き出せるだけでなく、製品開発期間の短縮を実現できます。



ROHDE & SCHWARZ

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-20-1 住友不動産西新宿ビル27階

URL : <http://www.rohde-schwarz.co.jp>

ご購入に関するお問い合わせ

TEL ☎ 0120-190-721 FAX : 03-5925-1290/1285 E-mail : Sales.Japan@rohde-schwarz.com

技術・仕様に関するお問い合わせ

TEL ☎ 0120-190-722 E-mail : Technical-Support.Japan@rohde-schwarz.com

修理・校正・サービスに関するお問い合わせ

TEL ☎ 0120-138-065 E-mail : service.rsjp@rohde-schwarz.com

電話受付時間 9:00 ~ 18:00 (土・日・祝・弊社休業日を除く)

おことわりなしに記載内容の一部を変更させていただくことがあります。あらかじめご了承ください。

お問い合わせは