

RFIDテストの課題に対するソリューション

はじめに

サブミクロン・レベルのCMOSにおける最近の進歩は、RFID技術の広範囲な分野への応用を支えています。具体的には、組み込みRFIDの増加、ユビキタスIDセンタやT-Engineフォーラムの設立、携帯電話へのNFC（Near Field Communication、近距離無線通信）の組み込み対応などに見ることができます。正確なサプライ・チェーン・マネージメント、POS（Point-Of-Sales）システム、偽造防止、資産トラッキング／モニタリングなどの可能性により、この技術は急速に広まっています。

RFIDにおいて最も難しい問題は、他の技術（携帯、WLAN、Bluetooth、ZigBeeなど）と統合しての実装や干渉の中で性能やインターオペラビリティ（相互接続性）を最適化することです。

このアプリケーション・ノートでは、テクトロニクスRSA3000Bシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザ（RTSA）の機能を利用した、RFIDシステムの性能解析のための系統的で詳細なアプローチについて説明します。RFIDにはさまざまな周波数帯やアプリケーションがありますが（表1を参照）、このアプリケーション・ノートでは、放射結合を利用するUHF（Ultra-High Frequency）帯（300MHz～3GHz）を例にとつて説明します。ここに示す課題とソリューションは、誘導結合システム（LF、VHF周波数帯）にも当てはまります。

このアプリケーション・ノートで扱うRFID解析の問題点を次に示します。

1. 割り当てられた周波数帯での性能の最適化
2. デンス・モードにおけるリーダ／ライタの性能検証
3. 伝送期間の検証
4. 特定の周波数、時間によるトリガ
5. システム性能の文書化
6. 時間、周波数、変調ドメインにおけるデータの時間相関性
7. タイミング測定
8. ホッピング信号の復調
9. シリアル・データ接続のトラブルシュート
10. 組み込みRFIDトランシーバのトラブルシュート

アプリケーション	規格番号	名称
動物ID用	ISO 11784	コード構造
	ISO 11785	技術概念
	ISO 14223	拡張コード構造とエンコーディング
貨物コンテナ	ISO 10374	自動識別
	ISO 18185	セキュリティ用電子シール
アイテム・マネジメント	ISO/IEC 18000-1	基準アーキテクチャ
	ISO/IEC 18000-2	135kHz未満のエア・インタフェース
	ISO/IEC 18000-3	13.56MHzにおけるエア・インタフェース
	ISO/IEC 18000-4	2.45GHzにおけるエア・インタフェース
	ISO/IEC 18000-6	860～960MHzにおけるエア・インタフェース
	ISO/IEC 18000-7	433MHzにおけるエア・インタフェース
	ISO/IEC 15961	データ・プロトコル：アプリケーション・インタフェース
	ISO/IEC 15962	データ・プロトコル：データ・エンコード規則
	ISO/IEC 15963	独自ID
	TR 18001	アプリケーション要件
TR 18046	パフォーマンス試験方法	
TR 18047	コンフォーマンス試験方法	
識別“プロキシミティ”カード	ISO/IEC 14443-1	物理特性
	ISO/IEC 14443-2	RFパワー
	ISO/IEC 14443-3	初期設定と衝突防止
識別“ビシニティ”カード	ISO/IEC 14443-4	伝送プロトコル
	ISO/IEC 15693-1	物理特性
	ISO/IEC 15693-2	エア・インタフェースと初期設定
	ISO/IEC 15693-3	衝突防止とプロトコル
近距離通信 (NFC)	ISO/IEC 18092	NFCインタフェースとプロトコル

ISO : International Organization for Standardization IEC : International Electrotechnical Commission
 TC : Technical Committee SC : Sub-Committee WG : Working Group JTC : Joint Technical Committee
 TR : Technical Report プロキシミティ : 数mm～数10mm ビシニティ : 数10mm～0.7m

表1. RFIDの規格

	北アメリカ	ヨーロッパ (302 208)	シンガポール	日本 (未決)	韓国 (新)	オーストラリア	アルゼンチン ブラジル、ペルー	ニュージー ランド	中国
周波数帯 (MHz)	902~928	866~868	866~869 923~925	950~956	908.5~914	918~926	902~928	864~929 スポット	840~845 920~925
電力	4W EIRP	2W ERP	0.5W ERP 2W (上側の帯域幅)	4W ERP	2W EIRP	4W EIRP	4W EIRP	0.5~4W EIRP	2W ERP 100mW@ バンド・エッジ
チャンネル数	50	10	10	12	20	16	50	可変	20

図1. 800/900MHz UHF ISM帯のRFIDにおいて各国で割り当てられる周波数帯

RFIDの課題 #1：割り当てられた周波数帯での性能の最適化

まず、すべての規格および規格外（専用）の実装で基本となるRFIDパラメータの概要について説明します。RFIDの基礎については、当社アプリケーション・ノート「リアルタイム・スペクトラム・アナライザによるRFIDとNFCの測定（37Z-19258-x）」、「Radio Frequency Identification (RFID) Overview（37W-18055-x）」をご参照ください。

最初の問題は、多くのRFIDリーダはさまざまな国で動作するように設計されていることです。図1は、各国のUHF ISM (Industrial, Science, and Medical) 帯でRFIDに割り当てられている周波数帯の一覧です。割り当てられているスペクトラムは、2MHz（シンガポールとヨーロッパ）のように狭い国もあれば、26MHz（北アメリカ）のように広い国もあります。ISO 18000-7システムのように433.5~434.5MHzで動作するシステムはすべての先進国で認可されており、占有するスペクトラムを最小にするためにFSK (Frequency Shift Keying) を利用しています。

2MHzの占有スペクトラムしか割り当てられていないエリアでは、ヨーロッパとシンガポールのようにリーダとタグ間のデータ・レートは低くなっています。また、EUや一部のアジアのスペクトル・マスクでは、データ転送レートは北アメリカに比べて30%（1500リード/秒に対して500リード/秒）に制限されます。

これは、フォークリフトの貨物パレットがドアを通過するスピードが遅くなることを意味します。資産管理システムのフローにおいて、特にリーダを通過するベルト・コンベア上の製品間隔、スピード、グループ（パレット）を考慮する場合、システムのスループット・レートは重要な要素になります。

また、意図的な放射に対しては、RFIDの送受信機は干渉波に対して各地域の規制に従う必要があり、同時に適切な干渉耐性を持つように設計する必要があります。これを実行するには、周波数ホッピング (FH)、Listen-Before-Talk (LBT)、または同期化という3種類のアプローチがあります（互いに干渉することのないよう、リーダは特定のチャンネルしか使用できないように周波数は管理されています）。アメリカでは、FCC 47 CFG Ch. 1 Part 1にしたがって周波数ホッピングが利用されています。ほとんどのヨーロッパ諸国では、ETSI EN 302 208-1にしたがってLBTまたは同期化が実装されています。

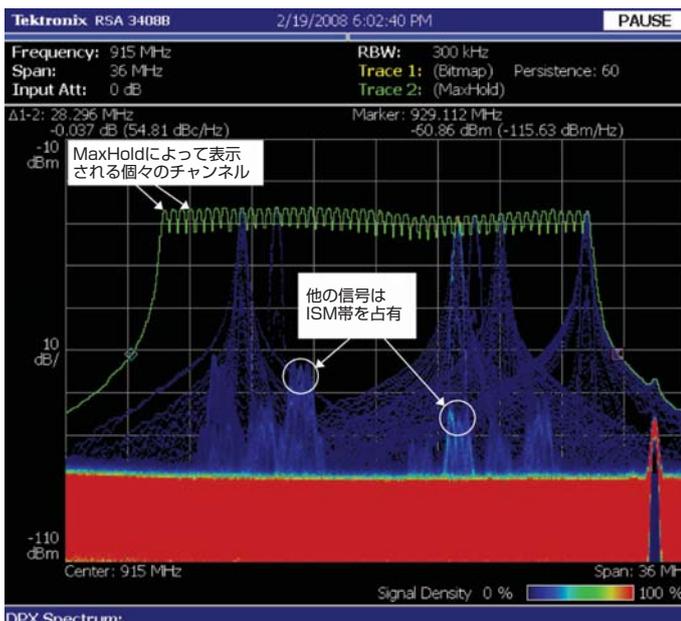


図2. 南北アメリカ（リージョン2）によるISO18000-6Cに適合するように設計されたリーダからのホッピング信号をDPX表示で観測した例。信号はわずか5msしかないため、掃引型スペクトラム・アナライザ（SA）で取込むには、当社リアルタイム・スペクトラム・アナライザのDPXによる48,000回/秒の取込みに比べて非常に長い時間が必要

ソリューション#1：ライブRF表示により真のRF環境を把握

RFIDのシステム性能を検証する最初のステップは、DPX®またはライブRF表示と呼ばれるRSA3000Bシリーズによるデジタル・フォスファ表示により割り当てられた周波数帯における現象を検証します。

DPX（ライブRF表示）では、次のことが可能です。

- 同じ周波数帯の他のRFIDチャンネルの観測
- 同時に存在する他のISM帯の機器（双方向無線、コードレス電話、ZigBee機器など）の検出
- 干渉やシステム機能低下などの可能性の検知

北アメリカのUHF帯の場合、RSA3408B型の前面パネルにあるDPXボタンを押し、中心周波数を915MHzに、スパンを36MHzに設定します。これにより26MHzの全帯域を取込み、チャンネル1（中心周波数：902.75MHz）、チャンネル50（中心周波数：927.25MHz）の両方の変調側波帯を観測することができます。

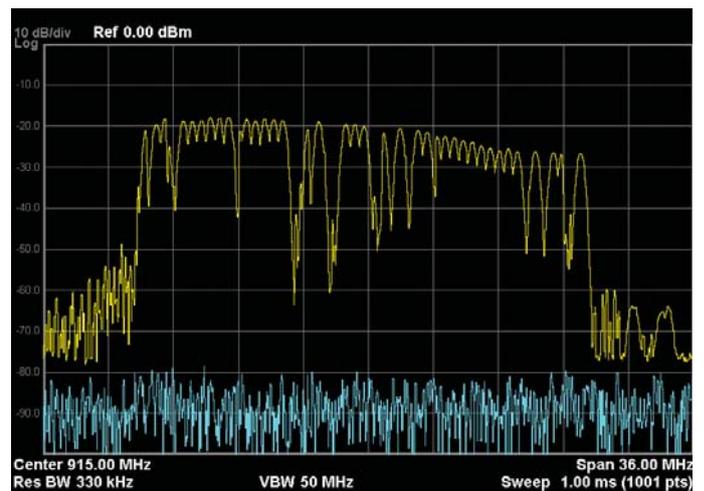


図3. 図2と同じRFIDリーダ信号を、掃引型スペクトラム・アナライザで30秒間取込んだ後の表示

図2は、RSA3408B型でDPX表示した例です。X軸には周波数が、Y軸には振幅（dBm）が表示されています。表示上の特長としては、速い表示更新レートと、カラー・コーディングによる時間的な、あるいは時間をベースとした情報の表示が挙げられます。色は、信号の密度、あるいは信号が特定の周波数、振幅にどの程度留まっていたかを示します。トランジェント信号や急激に変化する信号の表示能力も従来のシグナル・アナライザに比べると優れており、RSA3408B型のDPX表示では31μsまでの信号であれば表示できることを保証しています。DPXの詳細については、入門書「リアルタイム・スペクトラム・アナライザにおけるデジタル・フォスファ技術の基礎（37Z-19638-x）」をご参照ください。

リーダの出力を30秒間観測するだけで、さまざまな情報を見ることができます。まず、50のすべてのチャンネルが取込まれており、緑色のMaxHold波形で表示されています。さらに、周波数帯を占有している他の信号も数多くあることがはっきりとわかります。このように、異なった時間間隔、異なった振幅の信号が同じ周波数を占有している場合でもすばやく表示できるのはDPXだけの機能です。レベルの低い信号はタグではなく（DPX表示ではタグの応答がどのようなものかを見ることもできます）、ISM帯で動作する他のワイヤレス機器です。図3のように、掃引レートがどうであっても掃引型のスペクトラム・アナライザではこのような表示は不可能です。

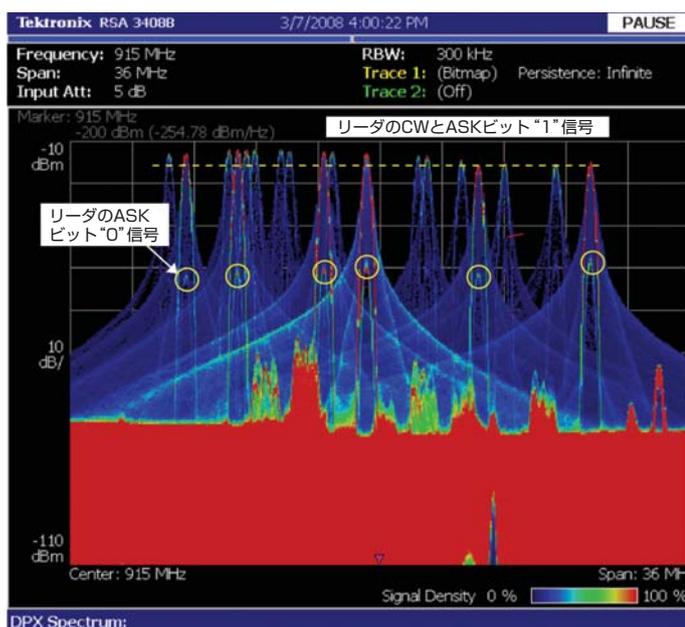


図4. DPX表示によるRFIDのリーダとタグの通信の例。干渉信号なしにタグが応答していることがわかる

この特殊な例では各ホッピングは約5msしか続かないため、掃引型（従来型）のSAで50チャンネルすべてを表示するには非常に長い時間が必要になります。図3に示すように、掃引型のSAで各周波数ホッピングを100%の確かさで表示するためには、信号は11ms続く必要があります。これは、システムが最大読み取りレートで動作するEPC GEN2のリーダでは特に問題となります。この場合、リーダは'FM0'による符号化を利用し、(タグからの)ダウン・リンクのBLF (Back Link Frequency) は最大データ・レートの640kbpsになります。このモードでは読み取り時間は175μsと短いため、掃引型のSAですべての通信を観測するには非常に長い時間が必要になります。このため、従来型のSAではMaxHold表示ですべてのチャンネルを観測することになります。MaxHold波形と現在の波形間にある干渉信号は観測できません。なぜこれが重要なのか考えてみましょう。

テストのため、いくつかのタグをリーダの読み取り範囲に置き、スペクトラム・アナライザのDPXとPCの両方で正しくリードが行われていることを観測します。PCに表示されるタグ応答と、RSA3000BシリーズのDPXで表示されるスペクトラム形状と周波数位置から相関関係がわかります。図4では、リーダがタグと正しく通信する周波数が観測できています。リーダが長い時間1つの

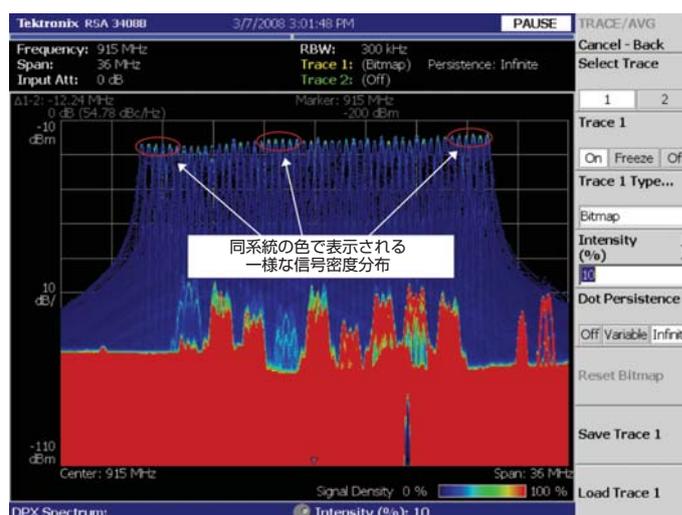


図5. わずか数秒のDPX表示で検出される干渉信号

ところに留まるにつれ信号の密度は高くなる（赤くなる）ことがこの表示からわかります。リーダからのASKの低レベル信号は、高振幅のリーダCWと高振幅のASKステート信号に含まれる、より狭く、低振幅の波形として観測できます。すべてのポーリングは干渉のない周波数で、大きなS/N比で実行されていることがわかります。これにより、最小の干渉で数多くのタグ・リードが成功する理由がはっきりわかります。

各リーダを特定のチャンネル（または複数のチャンネル）に制限するように周波数プランニングする場合、変調側波帯が、同時に使用されるリーダ間で干渉を起こさないような低レベルであることをDPXで確認します。図4の中央のリーダとタグの信号のスペクトラムは広く、他のチャンネルに比べて長い時間留まっていることがわかります。これは、信号の密度が高くなると波形の色は濃くなることからわかります。これは隣接チャンネルのリード・エラーの原因の可能性があります、干渉を防ぐためにフィルタリングを行う必要があります。

次に、ホッピング信号の周波数と振幅歪みを探します。理想は、リーダ信号は擬似ランダム・パターンでホッピングし、50チャンネルすべてで信号密度が均一に広がることです。また、割り当てられた26MHzの周波数帯にわたってホッピングするとき、リーダ信号の振幅は同じになる必要があります。

次に、Trace/Avg設定を調整して輝度を落とし、Dot PersistenceをInfiniteに設定して周波数分布の均一性を観測します。信号はホールド表示され、信号密度が増すにつれ（特定の周波数、振幅に長い時間留まると）、波形の色は青から赤に変化します。次に、チャンネルの信号密度が一定の間隔で変化することを画面上で確認します。これは、ホッピング・アルゴリズムによってホッピング信号が正しく分布していることを意味します。特定のチャンネルが他のチャンネルに比べて速いレートで信号密度が高い場合は、ホッピング・アルゴリズムを設定しなおす必要があります。

割り当てられた周波数帯で性能を最適化するのは、アクティブ・タグを利用するRFIDシステムではさらに困難です。アクティブ・タグは内部にバッテリーなどの電源を持っており、リーダからの信号を利用して駆動電力とするパッシブなタグとは対照的です。ISO18000-7のタグはアクティブであり、ISO18000-6Cのタグはアクティブになることができます（クラス3と4として知られています）。したがって、ハイパワー・アクティブ・タグは干渉があるような環境での通信に有効ですが、タグ自身が干渉源となる場合があります。レーダ、ガレージ/ゲート・ドア開閉器、アマチュア無線、（ヨーロッパの）リモート・キーレス・エン트리・デバイスなどは、このような周波数帯、またはその近傍の周波数帯で動作するため、干渉の発生を抑え、干渉波の影響を低減させることも重要になります。

次に、同じDPX表示設定で確認するのは、リーダのトランスミッタがホッピング・アルゴリズムを使用する場合の振幅フラットネスまたは周波数応答です。

図6は、922MHz周辺における約10dBの振幅低下の例を示します。DPX表示では、干渉を引き起こす低レベルのISM信号がいくつか観測されており、問題はより深刻です。このため、S/N比は他のスペクトラム部の55dBに対してわずかに25dBあるいはそれ以下

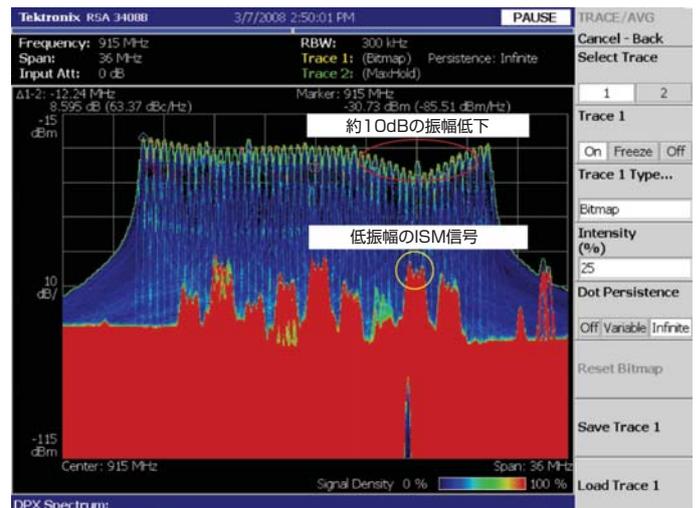


図6. DPXによるMaxHold表示は、従来型のSAに比べて、特定の周波数帯におけるチャンネルごとの周波数応答を非常に高速に観測できる

となっています。リーダのトランスミッタ（出力アンブ）、またはアンテナの周波数応答をフラットにして、干渉源を低下するか、なくすことが必要になります。

上記の例はすべて周波数ホッピングを使用しています。DPXは、LBT（Listen-Before-Talk）を実装する場合の信号の振る舞いを直感的にライブRF表示できるため非常に便利です。LBTモードでは、信号がそのチャンネル周波数にあり、ある振幅以上の場合、リーダは送信を開始できません。DPXでは、リーダが送信した場合、その周波数にホッピングした後、退避するか、あるいはそこに留まるかの様子を確認することができます。この様子がライブで更新されるため、波形取込みでトリガしたり、取込んだ後に解析したりする必要がありません。

課題 #2：デンス・モードにおけるリーダ／ライタの性能検証と 課題 #3：伝送期間の検証

ここまでは、「シングル・リーダ環境」での動作について説明しました。実際には、ほとんどのRFIDシステムは「マルチ・リーダ環境」または「デンス・モード環境」で使用されます。

- シングル・リーダ環境：1台のリーダが動作。
- マルチ・リーダ環境：同時に動作するリーダの数は、利用可能なチャンネル数よりも少ない。
- デンス・リーダ・モード：最も厳しい環境であり、チャンネル数に比べてリーダの数が大きい（例として、10チャンネルに対して10台以上のリーダがある）。

「動作環境」という用語は、リーダのRF信号が90dBc（半径が約1km）以下に減衰するゾーンと定義されます。このため、ほとんどのリーダは、設計仕様あるいは隣接したRFIDリーダの要因によりデンス・モード環境で動作を終了します。

例えば、ショッピング・レーンや倉庫などのアプリケーションで、正確なスペクトラム・プランニングの上で固定リーダを使用した場合は1km以内からの干渉は少ないのですが、NFCなどの組込みRFIDを使用したモバイル・デバイスでは、十分な減衰距離を維持することができないため、デンス・リーダ・モード環境が予測されます。この場合、RFIDシステムが使われている環境においてどのような信号があるのか、非常に重要になります。特に、組込み／モバイルRFIDの場合、干渉波がある中においてのリーダとタグの動作を理解することはますます重要になっています。

この環境に対応するため、ISO18000-6Cのリーダはデンス環境に適合しており、頻繁にMMS（ミラー変調サブキャリア）エンコーディングに切り替わることがあります。このエンコーディングではビットあたりのトランジションが増え、ノイズがあってもデコードが容易になります。しかし、同じタグのBLF（Backscatter Link Frequency、後方散乱リンク周波数）では遅くなります。MMSに

は、ミラー2、ミラー4、ミラー8という3種類があります。数字は、データ・シンボルを定義するBLF周期の数を示しています。例えば、最も遅い40kHzのBLFを使用すると、ミラー8のデータ・レートは $BLF/8=5\text{kbps}$ となります。このような遅いレートでは、96ビットのEPCと16ビットのエラー・チェックの転送に22.4msかかります。これは、1秒あたり45以下のタグ・リードに相当し、アップ・リンク・コマンドなどのオーバーヘッドが含まれているとさらに遅くなります。Part 15では、単一周波数で最高400msでの動作のみが許されています。したがって、リード・ステータスがどのようなものであれ、リーダ／ライタはこの時間の後、チャンネルを明け渡して別な周波数にホッピングしなければなりません。

ISO18000-7に準拠するリーダとタグでは干渉の影響を受けにくくするため、より遅い転送レートで長いRF伝送を行うことがあります。このためには、最小10秒間の無信号期間をはさんで、最大伝送時間は60秒になります。このような遅い転送レートでは、 SHIPPING・コンテナのすべての内容を識別する場合、128kバイトのデータを伝送するのに最大で2分かかることとなります。

ソリューション#2、#3：任意波形ジェネレータ、ロング・メモリ、連続トリガ

当社の任意波形ジェネレータ（AWG）を使用すると、デンス・モードをシミュレートし、デンス・リーダ・モード動作を検証するためのプリコンプライアンスを行うことができます。AWG5000シリーズまたはAWG7000シリーズはHF帯とUHF帯の両方においてRFID信号を直接出力するようにプログラムできるため、複数のリーダまたは複数のタグなど、さまざまな信号を1台の計測器でシミュレーションできます。ファンクション・ジェネレータやRFシグナル・ジェネレータなどの複数の機器を組合せると、両方の機器を設定する必要がないため、時間とコストを削減できます。

これらすべての動作を取込むには、ロング・メモリが必要になることがあります。リーダは複数の問い合わせを繰り返して実行し、リンク周波数を低減するためにタグに対してコマンドを発行し（MMSエンコーディングの使用）、LBTにおいてチャンネルを明け渡す必要があるかを確認するため、一般的に動作は遅れます。

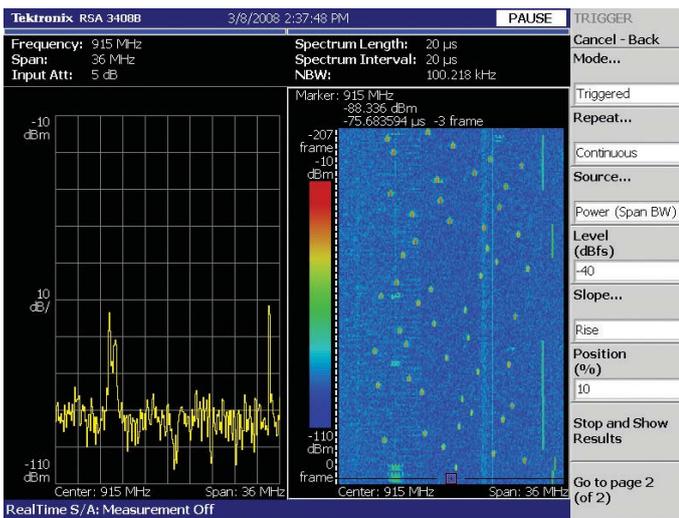


図7. トリガ・イベントのたびに複数のアキュイジションをシームレスに取込む連続モード・トリガとスペクトラム・ビュー

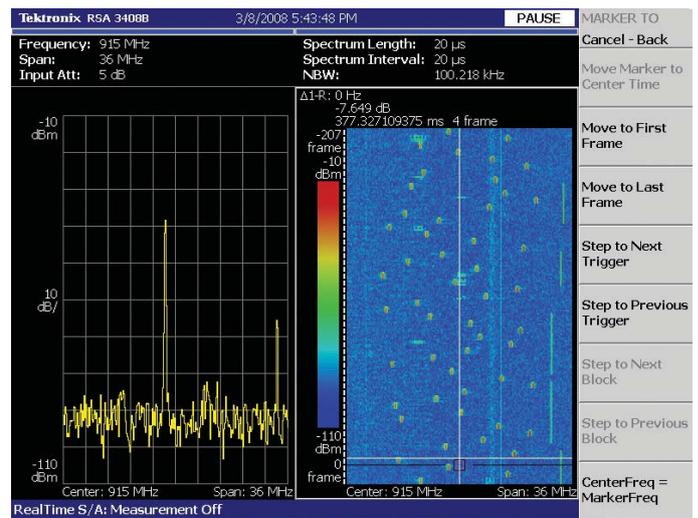


図8. リファレンス・マーカと各アキュイジション・トリガ・ポイントにマーカを移動する機能を使って測定した約377msのホッピング／バースト間隔（1-R）

RSA3000Bシリーズでは、500kHzスパンで最大102.4秒の取込みが可能なメモリを持っているため、433MHz帯の60秒の送信と10秒の無信号の両方を検証するのに十分なメモリとなっています。また、データ送信でエラーが発生した場合、余分なメモリをこの10秒の無信号を除外して使用すると有効です。そして、ロング・メモリで取込み60秒以上のバーストが観測された場合、送信エラーまたは障害の発生を解析することができます。

RSA3000Bシリーズは単発信号の取込みが行えるだけではないため、ホッピング／バースト信号の観測以外にも利用できます。図7は、Continuous（連続）トリガによるスペクトログラム表示の例です。連続トリガは、トリガ・イベントの発生でメモリに取込むだけでなく、トリガをリアームし、次のトリガ・イベントを待って次のトリガで再びメモリに取込みます。このトリガ設定により、短い波形取込み用にRTSAを設定し、周波数ホッピングや信号のオン／オフ（無信号期間）でトリガすることができます。複数の取込みが行えるだけでなく、波形取込み間の時間間隔を直接測定することもできます。図7、図8のスペクトログラムの左に表示されている白いバー（この例では点線に見える）は個々のアキュイジション

を示しており、この白いバーのトップはトリガ・ポイントを示しています。マーカ・メニューを使用することで、各トリガ・ポイント間にマーカを移動したり、最初または最後のアキュイジション（フレーム）に移動したりすることができます。リファレンス・マーカまたはデルタ・マーカを設定すると、図8に示すように、マーカを次のトリガに移動することでホッピング／バースト間の時間差を読み取ることができます。

ビデオ再生のように、スペクトラム表示を更新しながら自動的にアキュイジションを再生することができたらと思うことがありますが、RSA3000Bシリーズではオートビューと呼ばれるマクロを使用することでこれを実現することができます。RSA3000Bシリーズの前面パネルにあるMACROボタンを押すと、計測器にインストールされているマクロ・プログラムを呼び出すことができます（図9を参照）。オートビュー機能とRSA3000Bシリーズのマクロ・プログラムは、当社ウェブ・サイト（www.tektronix.co.jp）からダウンロードすることができます。詳細については、当社お客様コールセンターまでお問い合わせください。

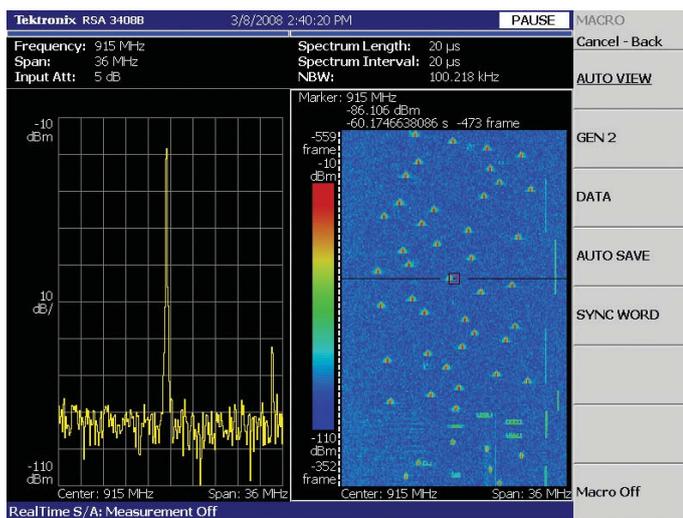


図9. 前面パネルのMACROボタンを押すと、オートビューを含む、RSA3000Bシリーズに保存されているすべてのマクロ・プログラムがサイド・メニューに表示される

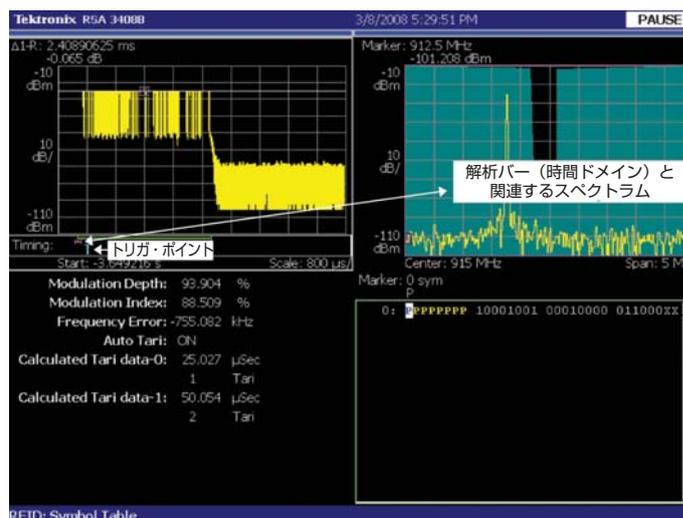


図10. トリガ・ポイント以前のスペクトラム

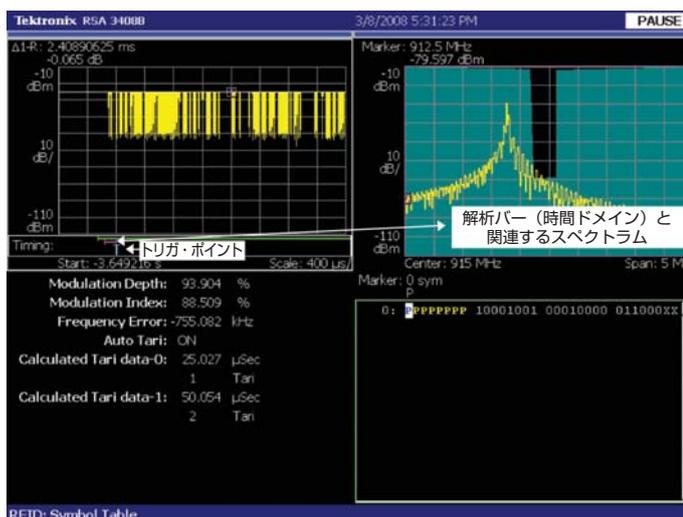


図11. マスクに対する変調側帯帯違反の瞬間でトリガした、トリガ・ポイントにおける時間ドメイン・データのFFT表示

課題 #4：特定の周波数、時間によるトリガ

先に説明したように、RFID信号は他の信号と混在した状態で動作することがあります。目的の信号のみでトリガすることは難しく、特にその信号を観測しているスパンにおいて最大振幅でない場合は難しくなります。多くの場合、取込んで解析したいのはリーダ信号の変調部分のみ、あるいはタグの応答のみであり、タグ応答前のCW信号やポーリングには興味はないものです。

ソリューション#4：周波数マスク・トリガ

周波数マスク・トリガ (FMT) は、周波数を選択し、周波数ドメイン信号でトリガすることができます。マスクを設定するだけで、たとえスパン内に振幅が大きい信号があっても特定の周波数に注目してトリガをかけることができます。RFIDのアプリケーションでは、特定の変調側帯帯がある場合 (リーダが変調したり、タグが応答したとき) にもトリガをかけることができます。

FMTの別な用途としては同期とスペクトラム・プランニングがあり、リーダは特定のチャンネルを割り当てられて通信し、干渉することのないようにフィルタリングされます。この場合、特定のチャンネル/周波数で動作するリーダのみにトリガしたいものです。

周波数ドメインのイベントを取込むことは、RFIDのモードによっては難しい場合があります。例えば、ISO 18000-6Cのタグが最も高速なモード (最も高速なリンク周波数640kbpsによるFMOエンコーディング) で応答する場合、リード・タイムはおよそ175 μ sになります。RSA3408B型では、FMTは36MHzの帯域幅で20 μ sまでの信号にトリガするように設定できます。

図10の例では、左上のウィンドウのマゼンタ色のカラー・バーで示される時間ドメイン・データがFFT (高速フーリエ変換) 処理され、スペクトラムは右上に表示されます。“T” マークはトリガ・ポイントです。図10は、トリガ・ポイント以前のスペクトラムを示します。図11は、変調側帯帯違反のレベルがマスクで設定されたレベルを越えた瞬間であるトリガ・ポイントでのFFT表示です。この例で使用されている5MHzスパンでは、RSA3000BシリーズのFMTは160 μ s以上続くすべての信号に100%の確かさでトリガし、最大10.24秒取込むことができます。

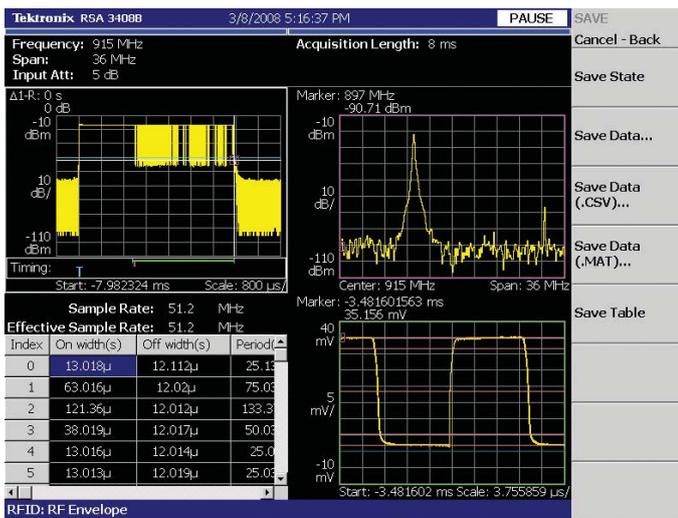


図12. RSA3000Bシリーズで利用可能なSave Instrument States、Save Data Formats、Save Tablesの機能

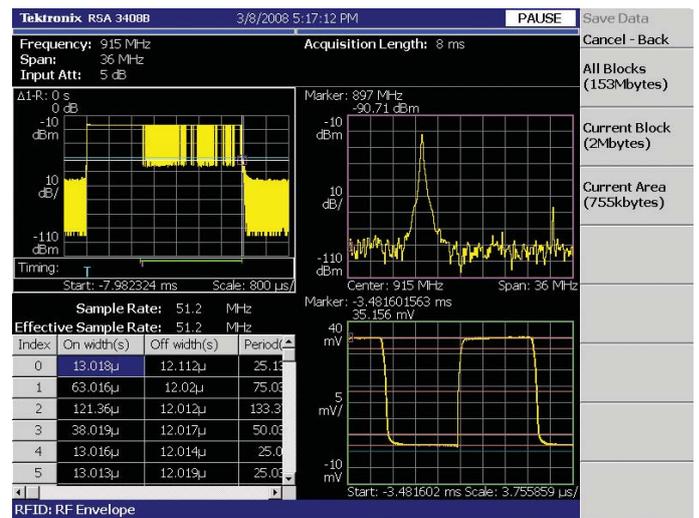


図13. RSA3000BシリーズのSave Dataに関するオプション

課題 #5：システム性能の文書化

ここまでは、DPXを使用して目的のスペクトラムで何が起きているのか、またリーダ/タグの通信を観測してきました。さらに、信号にトリガしてシームレスに取込むことについて説明しました。次のステップではデータを保存し、解析を実行します。ここで問題となるのは、取込んだ信号のファイル・サイズは大きく、取込む期間は長いのですが、測定したいのはアキュイジション全体のごく一部ではないかということです。その他の問題としては、解析ツールやデータベース・ソフトウェアでの取込みが容易なファイル・フォーマットで保存することが挙げられます。

ソリューション#5：ファイル・フォーマットとセグメント保存

RSA3000Bシリーズには、データを保存するためのさまざまなフォーマットが用意されています。図12に示すように、MATLAB®で取込む場合は.MATで、IQ対時間は.CSVで、表示される表につい

ても.CSVフォーマットで保存できます。スクリーンショットは.bmpで保存して、文書化の際に使用できます。RSAVuはRSA3000Bシリーズのユーザ・インタフェースのオフライン版です。スタンドアロンのアプリケーションとして外部PCにインストールでき、報告書を作成したり、再度データを取り直さなくても解析することができます。

膨大なデータを取込んで、保存しておきたい信号部分はわずかであったりします。このような場合、膨大なデータをスクロールして数msの信号を探す必要はありません。先に説明したように、「連続トリガ」を使用して複数の取込みを実行し、「save all blocks」オプションですべてを保存します。また、現在表示されているアキュイジション・データのみが必要な場合は、「save current block」で保存します。もう1つのオプションとしては、解析している部分のみを保存するというのがあります（図13の左上の緑の解析バー）。

信号を取込んだならば、データを解析する前にまずメモリに保存しておくといでしょう。

Manual
変調形式
■ ASK、SSB-ASK、DSB-ASK、PR-ASK、OOK、FSK
デコード形式
■ マンチェスタ、ミラー (M_2)、ミラー (M_4)、ミラー (M_8)、モディファイド・ミラー、FMO、PIE (Type A)、PIE (Type C)、NRZ

図14. RSA3000Bシリーズで“Standard Type”を“Manual”に設定した場合に対応可能な変調形式とデコード形式

課題 #6：時間、周波数、変調ドメインにおけるデータの相関性

正しく復調できたならば、リーダーとタグが期待通りに通信しているか、期待通りに通信していない場合はなぜなのかを理解するために各解析の時間相関を調べます。振幅グリッチによって周波数エラーが起きていないでしょうか。特定のビットが正しくデコードされていない場合、それはFSKまたはASKの変調でエラーが発生したからではないでしょうか。さまざまなドメインでデータの相関性が得られれば、これらの質問に回答することができます。

ソリューション#6：時間的に相関のとれたマルチドメイン解析

これに役立つのが、RSA3000Bシリーズに装備された時間相関のとれたマーカとView：Defineメニューです。まず、リーダー／タグからのデータを解析するようにRTSAを設定します。

DEMODモードを選び、解析するデータを取込んだならば、次に信号のパラメータを設定します。これは、“Meas Setup”画面で簡単に行えます。被測定デバイスがISO規格に準拠していない場合は、“Manual”を選択します。あるいは、あらかじめ設定されている13種類の規格から選択すると、RTSAは選択されたリンク（リーダー／ライタまたはタグ）にしたがって自動的にパラメータを設定します。図14に、あらかじめ設定されている規格と、マニュアル・モードを選択した場合の変調／デコード・オプションを示します。

BLF (kHz)	エンコード	データ・レート (kbps)
40	FMO	40
	MMS-2	20
	MMS-4	10
	MMS-8	5
256	FMO	256
	MMS-2	128
	MMS-4	64
640	MMS-8	32
	FMO	640
	MMS-2	320

図15. 選択される後方散乱リンク周波数 (BLF) とエンコード形式によるダウン・リンク (タグからの) のデータ・レート

変調およびデータ・コーディング・パラメータを設定したならば、最後にビット・レート (ISO 18000-6Cの場合はTari) を設定します。ビット・レート (またはTari) がわからないことがあります。タグからのビット・レートが図15のように大幅に変化するISO 18000-6Cでは、特に難しいものになります。このパラメータがわからない場合は、Auto機能をオンにします。

これで、RSA3000Bシリーズは信号を解析するように設定できました。最後のステップは、取込んだ信号から解析する範囲を指定します。これは、Acquisition/Analysisメニューまたはオーバービュー・ウィンドウ (左上) のマーカを使用して行います。

範囲を指定したならば、前面パネルのMeasureボタンを押し、2ページ目にあるSymbol Tableを選択します。前面パネルのMeas Setupボタンを押し、サイド・メニューからAnalyzeを選択すると解析が実行されます。シンボル・テーブルで測定しているため、各ビットが期待通りにデコードされているかを容易に確認できます。特にISO規格のテストでは有効で、プリアンプルのデータは黄色でハイライト表示され、確実に解析できていることがわかります。

操作上のヒント

マーカのオプションを使用する場合は、解析する領域の左側でマウスをダブルクリックし、次に右側でシングルクリックします。次に、前面パネルのMarker to (Markerと→) ボタンを押し、サイド・メニューのAnalysis Time=Marker Timeを選択します。選択された領域の下に緑の解析バーが表示されます。

この時点では図16のように表示され、左上にはオーバービュー・ウィンドウ、右上にはスペクトラム表示、右下にはシンボル・テーブル、左下には変調データが表示されます。

後方散乱タグ応答によるASKの場合、リーダ/ライタとタグの差は明らかです。タグのピーク・トゥ・ピーク変動は非常に小さいのですが、リーダ/ライタはより深い変調を使用するために大きな振幅変動になっています。

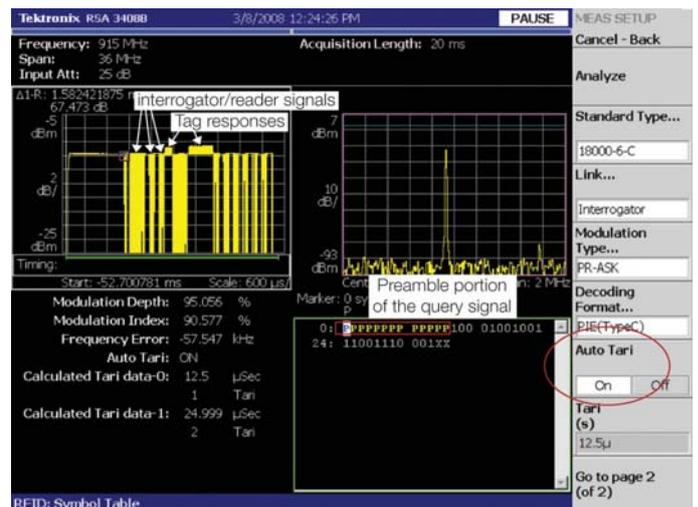


図16. Auto TariによるISO18000-6C (EPC GEN2) のテストPIはプリアンブルを、その他の動作においてSはフレーム同期を示す

RFID規格の測定項目

メニュー	測定項目	規格					
		ISO 18000-4 Mode 1	ISO 18000-6 Type A, B & C	ISO 14443-2 Type A & B	ISO 18092 (424 k)	ISO 15693-2	ISO 18000-7
Carrier	キャリア周波数	■	■	■	■	■	■
	OBW/EBW	■	■	■	■	■	■
	パワー・オンの平均パワー	■	■	■	■	■	■
Spurious	スプリアス	■	■	■	■	■	■
ACPR	ACPR	■	■	■	■	■	■
Power On/Down	送信パワー	■	■	■	■	■	■
	立上り/立下り時間	■	■	■	■	■	■
	セトリング時間	■	■	■	■	■	■
	オーバー/アンダーシュート	■	■	■	■	■	■
	オフ・レベル	■	■	■	■	■	■
RF Envelope	オン/オフ幅	■	■	■	■	■	■
	デューティ・サイクル(%)	■	■	■	■	■	■
	オン/オフ・リップル	■	■	■	■	■	■
	立上り時間	■	■	■	■	■	■
FSK Pulse	立下り時間		■	■	■	■	■
	オン/オフ幅						■
	周期/デューティ						■
	オン/オフ・リップル						■
Constellation	スロープ1、2、3						■
	変調深度	■	■	■	■	■	■
	変調インデックス	■	■	■	■	■	■
Symbol Table	周波数エラー	■	■	■	■	■	■
	ビット・レート (測定値)	■	■	■	■	■	■
	Tari長 (0 & 1)	■	■	■	■	■	■
	プリアンブルのハイライト	■	■	■	■	■	■
Marker	ターン・アラウンド時間	■	■	■	■	■	■

表2. RSA3000Bシリーズは、さまざまなRFID規格に対して自動的に設定、測定を実行

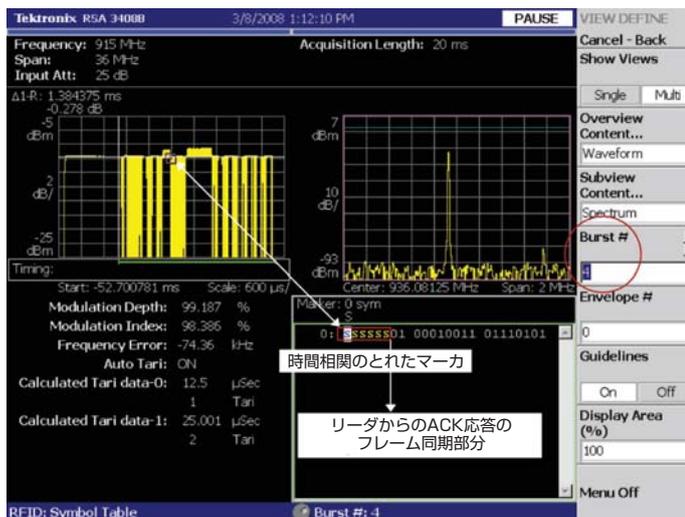


図17. バーストは、リーダー/ライターからのACK応答である#4に設定。オーバービュー・ウィンドウ (左上) のマーカ (赤の□) は、表示されている取込部を示す

View : Defineメニューでは、フレーム (バースト) 間のアキュイジションを簡単に移動し、目的の表示になるように設定します。

前面パネルのDefineボタンを押すと、図17に示すようなサイド・メニューが表示されます。Overview ContentとSubview Contentを選択するとさまざまな表示スタイルから1つ選択でき、Burst #とEnvelope #を選択するとアキュイジションをすばやく移動できます。

例えば、ISO18000-6Cシステムにおいて、ACK信号がリーダー/ライターからタグに正しく戻っていることを確認する場合、Burst #の数を変えるとマーカが選択されたバーストの始めに自動的に移動

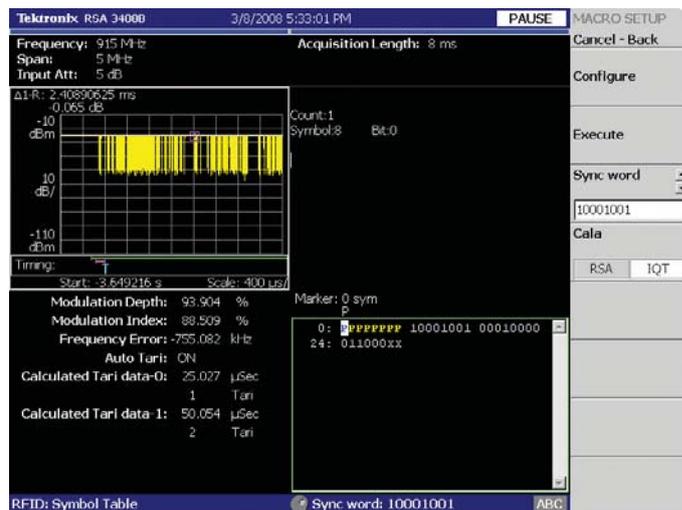


図18. データ列を検索するSync wordマクロ。ここではシンボル8の開始 (プリアンプル直後) で一度発生する '10001001' のバイトを検出

します。マーカが、タグからの最初の応答直後のバーストに来るまでこれを繰り返すと (RN16を含んでいるはずですが)、シンボル・テーブル (図17の左下) にはデコードされたデータが自動的に更新されます。期待通りの応答であるフレーム同期に続いて、01とRN16が観測されます。

Sync Wordマクロは、図18に示すように、シンボル・テーブルからデータ列 (RN16、ACK、CRCビットなど) を探します。詳細について、またその他のマクロについては当社ウェブ・サイト (www.tektronix.co.jp/rsa) をご参照ください。

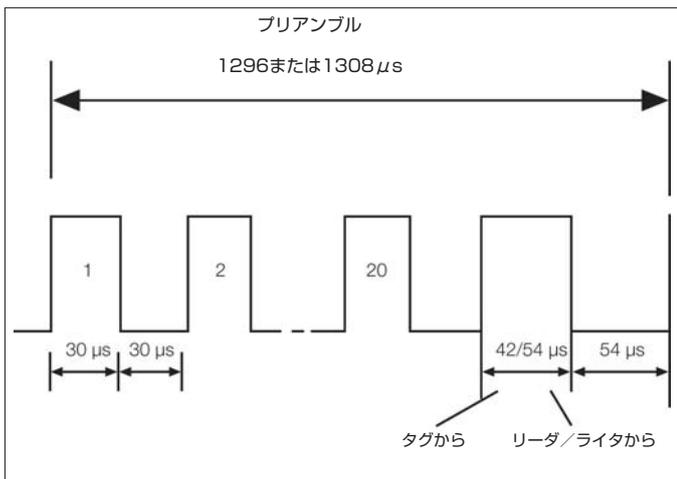


図19. ISO18000-7のプリアンブル

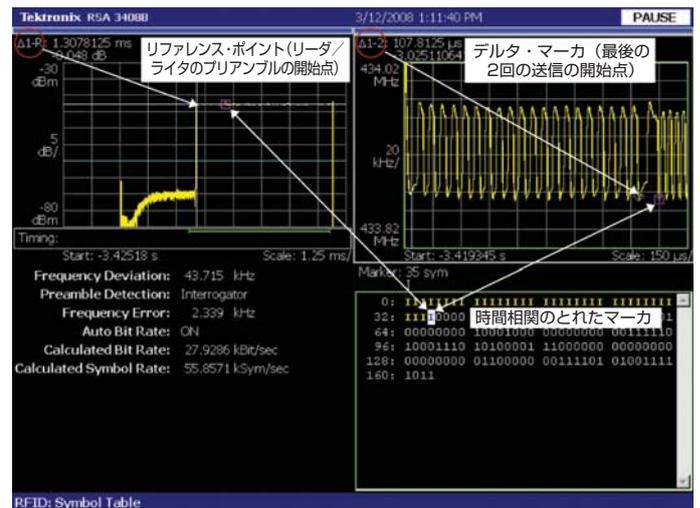


図20. 時間相関のとれたマーカを使用したISO18000-7のライター('1')信号のプリアンブルの検証

課題 #7：タイミング測定

RFIDのすべてのデータ伝送には、データのビット、タグへ送電するCW信号、ターンアラウンド・タイムと呼ばれるリーダとタグ間の応答時間などの信号に耐性（トレランス）があります。ターンアラウンド・タイムは、リーダ/ライターからの最後のトランジション・ビットから、タグ応答の最初のトランジションまでの時間間隔として測定されます。ターンアラウンド・タイムが大きいと、RFIDシステムの許容量とスループットに影響を及ぼします。

ソリューション#7：時間相関のとれたマーカ、自動タイミング測定、GEN2マクロ (ISO18000-6C)

時間相関のとれたマーカ、自動タイミング測定、GEN2マクロを使用した、タイミング・パラメータの解析/検証の例を見てみましょう。最初の例では、ISO18000-7信号でプリアンブルのタイミングを確認します。

ISO18000-7規格によると、プリアンブルは20個の周期 $60\mu\text{s}$ のパルス（ $30\mu\text{s}$ ハイ、 $30\mu\text{s}$ ロー）に続き、通信方向を識別する最終同期パルス（ $42\mu\text{s}$ ハイ、 $54\mu\text{s}$ ロー（タグからリーダー/ライター）、 $54\mu\text{s}$ ハイ、 $54\mu\text{s}$ ロー（リーダー/ライターからタグ））で構成されています。

このパラメータを検証するため、リーダー/ライターから1つのバーストを抜き出してデータを復調します。復調されると、プリアンブル

は黄色の '1' として表示され（ライタの場合）、左下に表示されるリードアウトからこの信号はリーダー/ライターであることがわかります。この規格はFSK（周波数シフト・キーイング）を利用しており、他の多くのRFID規格で使用しているASKとは区別しにくいいため、とても便利です。

RSA3000Bシリーズのタイミング分解能は20nsであるため、プリアンブル長さなどのRFIDタイミング・パラメータを測定することができます。プリアンブルの長さの検証では、オーバービュー・ウィンドウでリファレンス・マーカを設定すると、マーカはシンボル・テーブル内で移動します。マーカは、左上に表示されるオーバービュー・ウィンドウの振幅対時間表示、および右上に表示されるサブビュー・ウィンドウの周波数対時間の表示内でも移動します。したがって、プリアンブルの最後の部分においてマーカから直接読み取ることができます。すべてのウィンドウは同じ水平軸（時間）を持ち、マーカは同じ瞬間を示します。オーバービューのデルタ時間（ $\Delta 1-R$ ）のリードアウトから、プリアンブルの時間は規格で定められている $1308\mu\text{s}$ と読み取れます。マーカは、各ウィンドウで個別に設定することもできます。サブビュー・ウィンドウのデルタ・マーカ（ $\Delta 1-2$ ）のリードアウトから、最後の2つの同期パルスは、2つ合わせて約 $108\mu\text{s}$ と読み取れ、やはり規格で定められている値となっています。

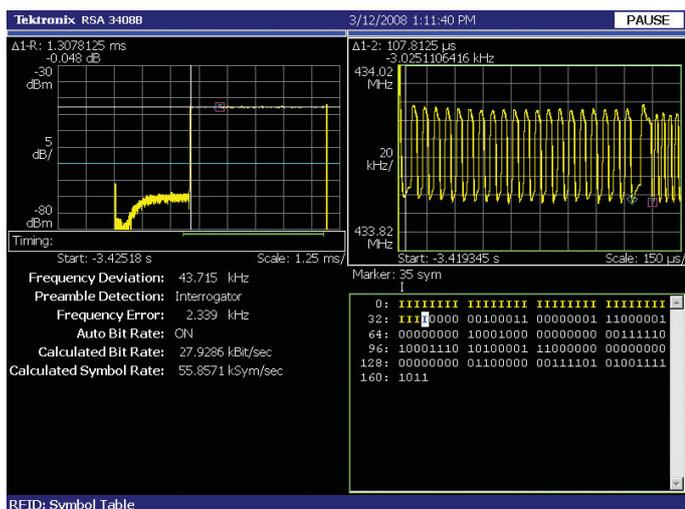


図21. FSKのパルス・パラメータ測定画面

FSKパルス測定モードは、解析期間におけるすべてのタイミングを一度に観測できます。図21に示すように、オン/オフ期間はおおよそ30 μ s、最後の2つのトランジション（インデックス19はオフ、インデックス20はオン）はおおよそ54 μ sとなっています。また、周波数の立上り時間も解析され、被測定デバイスがある周波数から別の周波数に遷移するまでの時間がわかります。

次の例は、ISO18000-6C（EPC GEN2）信号のプリアンプルのタイミングとRFのエンベロップ測定です。プリアンプルのタイミングはすべての通信の決定ポイントとなるため、非常に重要です。このタイミングが許容値を外れると、それ以後のすべての信号はリーダーによって正しくデコードされません。

ISO18000-6Cの信号で特に重要なタイミング・パラメータが、図22に示すデリミタ、Data 0（Tali）、RTcal、TRcalです。このパラメータは、先に説明したマーカを使用した方法、またはRFエンベロップ測定で読み取ることができます。しかし、最も簡単な方法はマクロを使用する方法で、RFエンベロップ測定の結果を自動的にインポートし、計算して、図23のようにパラメータを表示します。

プリアンプルのタイミングの他に、規格では次のようなパラメータを規定しています：リップル・オン、リップル・オフ、オンのパルス幅、オフのパルス幅、デューティ・サイクル。リップルの仕様は、タグの後方散乱変調方法によるノイズまたはリングングの影響を最小にするように設定されています。ノイズやリングングの影響が大きいと、リーダー/ライターがタグの応答に含まれるすべての情報を検出する能力が低下します。パルス幅の仕様は、リーダー/ライターがタグからのデータを検出してデコードするための時間を規定します。

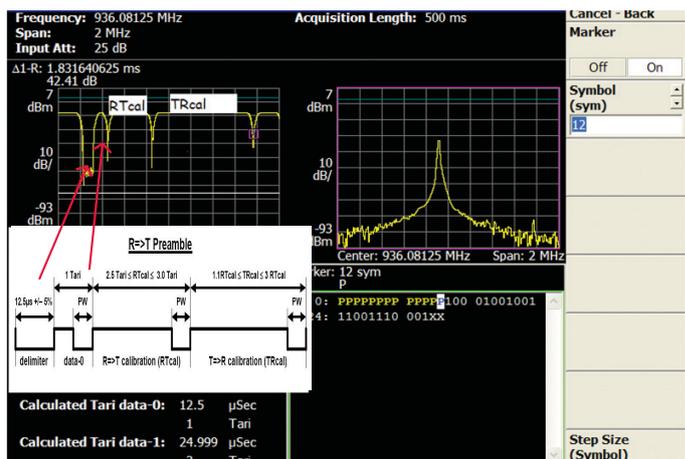


図22. ISO18000-6Cのリーダ信号のプリアンプルに含まれる重要なタイミング・パラメータ

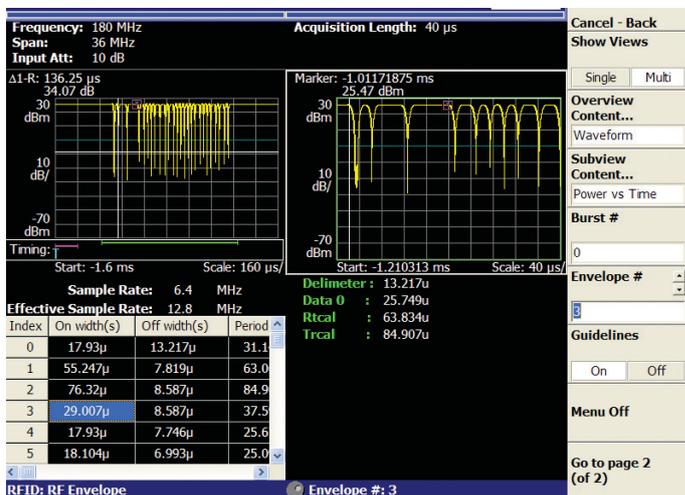


図23. RFエンベロップとプリアンプル・タイミング・パラメータ（デリミタ、Data 0、RTcal、TRcal）の自動測定

デューティ・サイクルはリーダー/ライターが送信できる電力の時間長を規定します。すべての測定値は、図23のようにRFエンベロップ・テーブルとして表示されます。

課題 #8：スパンの中心で取込まれないホッピング信号の復調

アナライザの中心周波数設定からオフセットしている周波数の信号は、スペクトラム・アナライザやベクトル・シグナル・アナライザのソフトウェア解析では復調できません。周波数範囲5MHz、中心周波数915MHzに設定したものの、908.75MHzで信号を取込んだ場合でも復調したいものです。

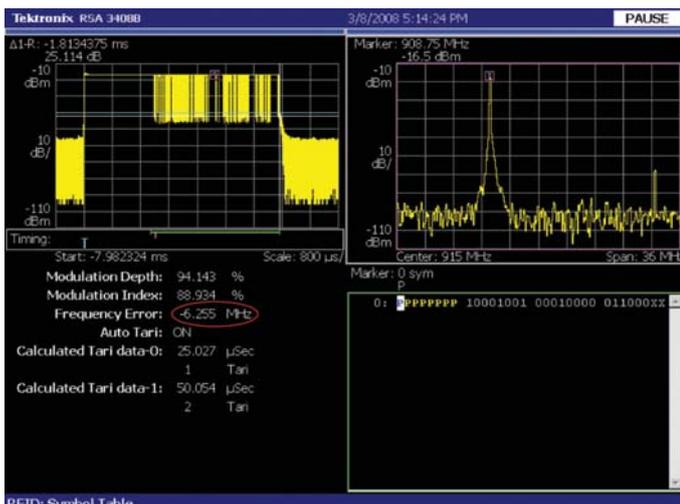


図24. ホッピング信号（この例では中心周波数から6.25MHzずれた）の復調

ソリューション#8：取込帯域幅内の信号であれば復調可能なRSA3000Bシリーズ

「百聞は一見にしかず」というとおり、図24はそれを表しています。RSA3000Bシリーズは、取込帯域幅にある信号であれば復調できるため、アナライザで設定した中心周波数ちょうど（または非常に近く）でないホッピング信号であっても問題ありません。信号を解析するためにアナライザ設定に時間を費やす必要はありません。RSA3000Bシリーズでは、オーバービュー・ウィンドウで解析する領域を設定し、Analyzeを選択するだけですべてを測定できます。スパンのどこにあっても構いません。ホッピング信号を取込み直す必要もありません。

課題 #9：シリアル・データ接続のトラブルシューティング

データは、RS-232/422/485、SPI、I²Cなどのシリアル・インタフェースを利用して、RFインタフェースからPCやレコーダなどの周辺機器に取込む必要があります。

RS-232の非同期レシーバ・モジュールが問題になることがあります。できれば、(シリアル) クロック・サイクルごとにシフトするデータを観測し、しばらくホールドしたいものです。次に、DTR (Data Terminal Ready) 出力を観測し、アサートされていることを確認します。正しい時間にDTRをアサートすることがリーダーからPCへのスループットにおける最も重要な課題です。

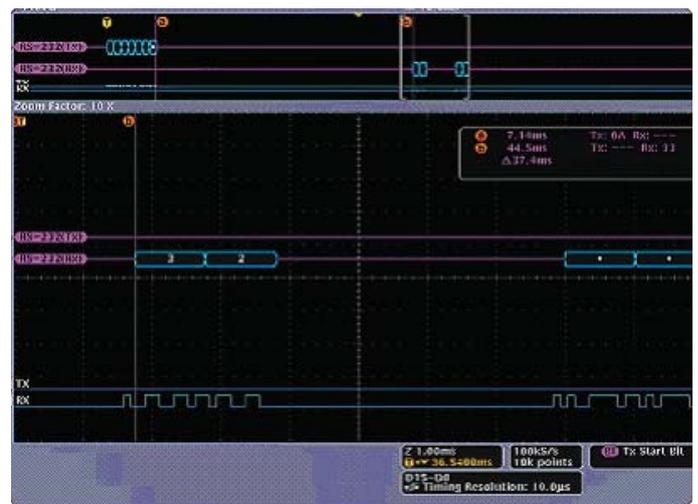


図25. DPO4000シリーズでトリガし、デコードしたRS-232信号

ソリューション#9：DPO/MSO4000シリーズ・オシロスコープ

MSO4000シリーズ・ミックスド・シグナル・オシロスコープには16のデジタル・チャンネルが装備されているため、組み込みシステムの設計エンジニアには最適なオシロスコープです。RS-232の例では、MSO4000シリーズのロジック・プローブをRXデータ（またはSOUT）に接続します。これにより、RFIDチップがカードからのデータを受信します。デジタル解析を行うことで、バッファの値が期待通りのものであることを確認し、カウンタなどの中間信号の値をチェックすることができます。これには、次にご紹介するモジュールが役立ちます。使用するデータによってモジュールを選択します。

DPO4COMP型 — RS-232/422/485/UARTシリアル・トリガ&解析モジュール：RS-232/422/485/UARTバスにおけるパケット・レベルでのトリガが可能で、信号、バスの観測、パケット・デコーディング、検索ツール、タイムスタンプ付パケット・デコード・テーブル表示などの解析ツールを提供します。

DPO4EMBD型 — I²C/SPIバス・シリアル・トリガ&解析モジュール。I²CやSPIバスにおけるパケット・レベルでのトリガが可能で、信号、バスの観測、パケット・デコーディング、検索ツール、タイムスタンプ付パケット・デコード・テーブル表示などの解析ツールを提供します。

詳細については、当社ウェブ・サイト (www.tektronix.co.jp) でご用意しているアプリケーション・ノート「組み込みシステム設計におけるロー・スピード・シリアル・バスのデバッグ」(ドキュメント番号：48Z-19040-x) をご参照ください。

- DPXによる問題解決
 - ホッピング時に最終のキャリア周波数から時間オフセットされて表示される信号
- 周波数マスク・トリガによる問題の取込み
 - ホッピング周辺のデータのみを毎回取込み
- 問題の測定
 - シグナル・ソース解析でセトリング時間、周波数変動時間を測定

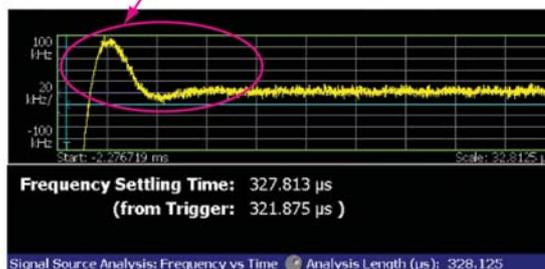
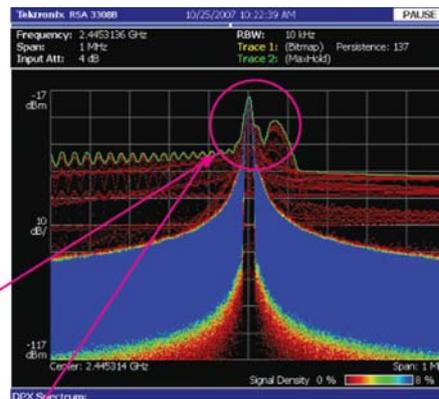
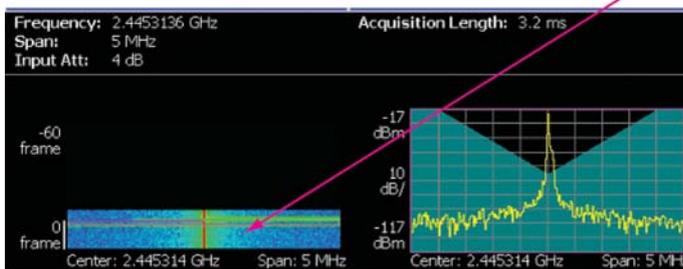


図26. DPX、FMT、シグナル・ソース解析を使用したPLL動作の検証プロセス

課題 #10：組込み設計のRFIDトランシーバのトラブルシューティング

課題#9では組込み設計について説明しましたが、シリアル・データ接続についてのみでした。組込み設計はこのアプリケーションで収まるものではなく、RFIDのトランシーバの各ステージにおいて重要なデジタル・コンポーネント、アナログ・コンポーネントがあります。例えば、PLL (Phase Locked Loop) は、長いバイト・ストリングを送信すると、ドリフトが著しく大きくなる場合があります。これを解決するために、PLLではサンプル・ホールドが利用されることがあります。別な例として、ビット・クロック/サンプル・クロックの位相連続性が問題になることがあります。これは、位相反転ASK (PR-ASK) 変調で特に問題となります。この位相連続性を維持するために、キャリア・デバイダとしてタイマ/カウンタを使用します。これにより、復調データの立下りエッジ (通常、最初のエッジ) でカウンタをリセットし、サンプル・クロックとビット・クロックを同期させます。

このアプリケーション・ノートの前半では、RFIDのリーダがFCCまたはETSIで設定されるスペクトラム・エミッション・マスクに違反しないか、RSA3000Bシリーズで検出する方法について説明しました。これに対するソリューションとして、ベースバンド・フィルタとパルス・シェイプがあります。

ソリューション#10：MSOとRSA3000Bシリーズの差動ベースバンド入力の利用

組込み設計における問題点について、「PLLの安定/ドリフト」、「ビット・クロック/サンプル・クロックの位相連続性」、「ベースバンド・フィルタ/パルス・シェイプ」の3種類を説明しましたが、RFIDの組込み設計エンジニアが日々直面する問題は少なくありません。このアプリケーション・ノートですべての問題を論ずることはできないので、いくつかの問題におけるソリューションの概要について説明します。

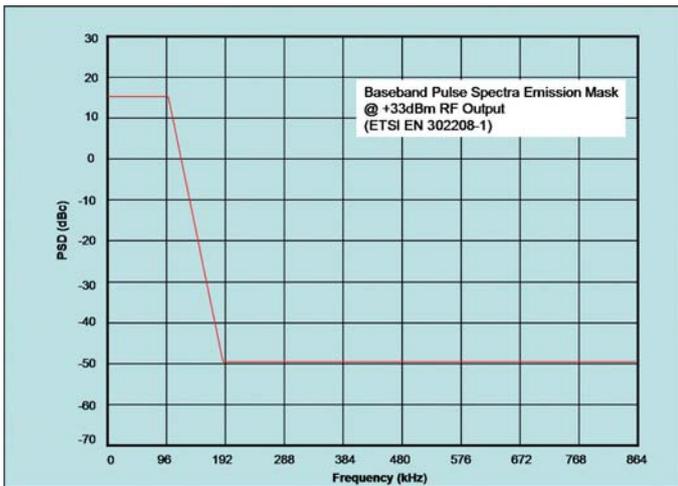


図27. ベースバンドPR-ASKのパルス・スペクトラム

PLLの例では、RSA3000Bシリーズの信号解析モードを利用することで位相ノイズとジッタが解析でき、セトリング時間が自動的に測定できます。PLL動作は、RF周波数またはRSA3000Bシリーズの差動ベースバンド入力 (I+, I-, Q+, Q-) を利用したアナログ・ベースバンドで検証します。

先に説明したサンプル・ホールドによるソリューションでは、MSOをホールド違反でトリガするように設定します。MSOのトリガ出力をRTSAのトリガ入力に接続すると、DSPによるセットアップ/サンプル/ホールド違反とRF信号の結果を関連付けることができます。RSA3000Bシリーズにはトリガ出力機能もあるため、逆にMSOをトリガすることにより、周波数マスク・トリガを使ってRTSAで周波数ホッピング違反をトリガにし、DSP信号を取込むことができます。

同じトリガ設定は、ビット・クロック/サンプル・クロックの位相連続性の検証にも応用できます。MSOでタイム/カウンタをモニ

タし、リーダーからの各フレームでMSOとRTSAをトリガします (トリガと10MHzのタイムベースを同期させます)。違反が検出されるとRSA3000Bシリーズのシンボル・テーブルにxで表示され、ビット/サンプル・クロック・エラーとの相関性を確認することができます。例として、データ・ビットは正確に初期化された後、徐々に不安定になったり (シンボル・テーブルで予期せぬxが表示されたり)、ビットが反転 (0が期待されるのに1になったり、またはその逆) したりする場合があります。

多くのRFID IQ変調器はデジタル・アナログ・コンバータ (DAC) と変調器入力間にロー・パス・フィルタを入れ、DACからのサンプリング・イメージを減衰させます。ベースバンド・フィルタを検証する最初の手順は、コーナ周波数の検証です。これは、DACのサンプリング周波数によって変化することがあるためです。これには、DC (0Hz) から40MHzまでにおける非常に優れたダイナミック・レンジと周波数測定が可能なオシロスコープまたはRSA3000Bシリーズのベースバンド入力を使用します。このダイナミック・レンジは次の手順で特に有効です。次の手順では、使用するパルス・シェイプがETSI EN302208-1のスペクトラム・マスクとの適合性を確認します。マスクは、図27に示すようなベースバンド・パルス・スペクトラムの減衰が必要です。

65dBのダイナミック・レンジは、RSA3000Bシリーズの14ビットA/Dで実現されます。必要に応じて、RTPA2A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザ用TekConnect®プローブ・アダプタで接続するプローブを使用することもできます。一般に、パルス・シェイプは、DACをドライブするDSP内のFIRフィルタを使ってデジタル的に実現されます。MSO4000シリーズを使用すると最大16のデジタル・チャンネルをモニタでき、DSPの信号が正しいことを確認できます。デジタル・チャンネルがさらに多く必要な場合は、TLA5000シリーズなどのロジック・アナライザを使用します。

Tektronix お問い合わせ先：

日本

本社 03-6714-3111

SA営業統括部 03-6714-3004

ビデオ計測営業部 03-6714-3005

大宮営業所 048-646-0711

仙台オフィス 022-792-2011

神奈川営業所 045-473-9871

東京営業所 042-573-2111

名古屋営業所 052-581-3547

大阪営業所 06-6397-6531

京都オフィス 075-323-9048

福岡営業所 092-472-2626

湘南カスタマ・サービス・センタ 0120-7-41046

地域拠点

米国 1-800-426-2200

中南米 52-55-542-4700

東南アジア諸国／豪州 65-6356-3900

中国 86-10-6235-1230

インド 91-80-2227-5577

欧州 44-0-1344-392-400

中近東／北アフリカ 41-52-675-3777

他30カ国

Updated 01 June 2007

まとめ

当社のRSA3000Bシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザは、さまざまなRFID信号に従事する設計エンジニアに優れたソリューションと利点を提供します。周波数選択によるトリガ、ロング・メモリ、複数の取込み機能、解析機能を装備しているのはRSA3000Bシリーズだけであり、RFIDのリーダ／ライタの動作を詳細に理解することが可能です。当社の任意波形ジェネレータ、オシロスコープ、RTSAは、最新のRFID設計のトレンドに対応する、優れた統合ソリューションです。

詳細について

当社は、最先端テクノロジー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.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, 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。

08/08 EA/PDF

37Z-19258-1

Tektronix

Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 E-mail ccc.jp@tektronix.com

電話受付時間／9:00～12:00・13:00～18:00 月曜～金曜(休祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
製品のFAQもご覧ください。 www.tektronix.co.jp/faq/

■ 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