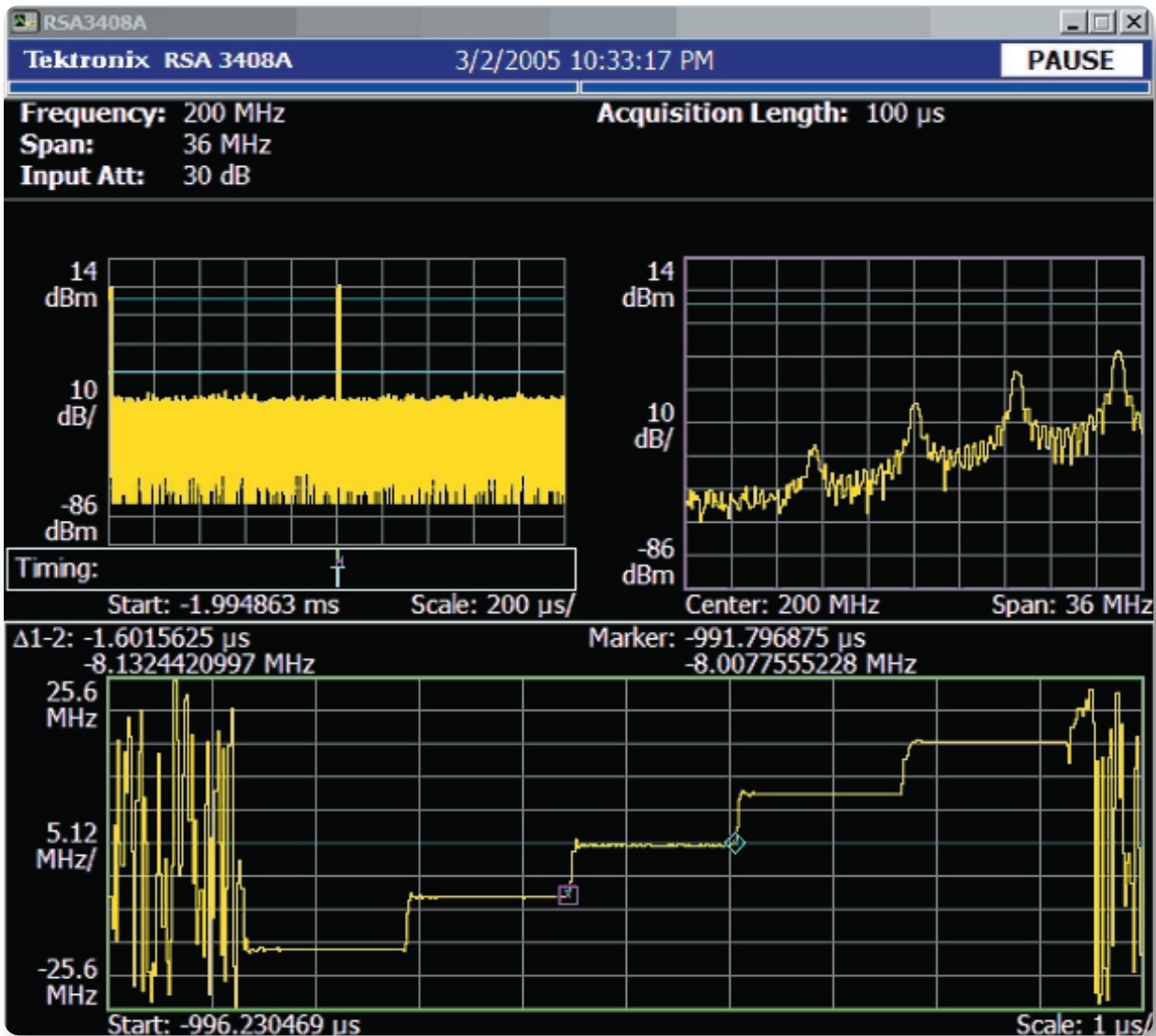
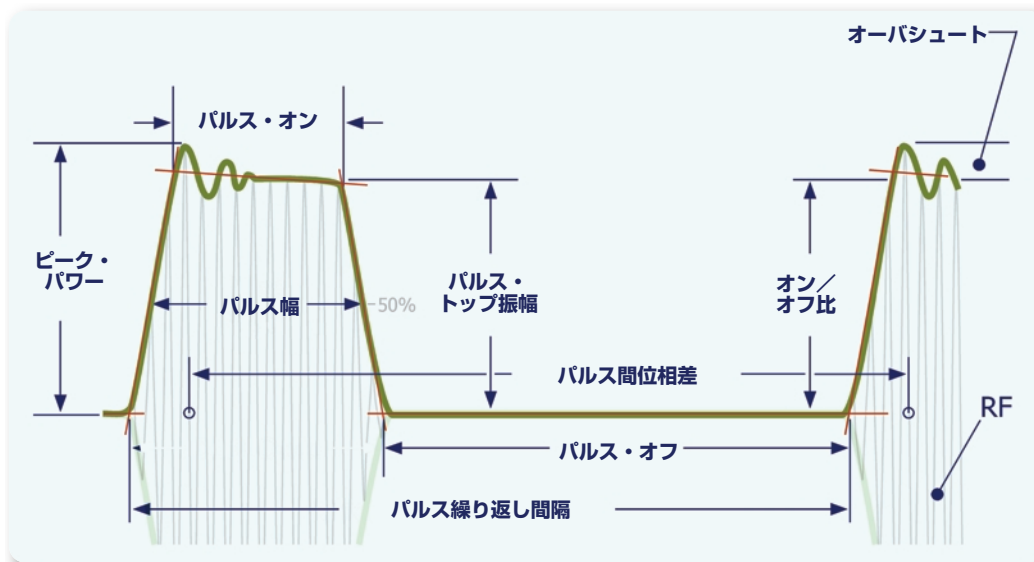


リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定



レーダ・パルス測定は、レーダ、EW (Electronic Warfare : 電子戦)、ELINT (Electronic INTelligence : 電子情報収集) システムで非常に重要な要素です。RTSA (Real-Time Spectrum Analyzer) と独自のパルス測定機能は、トランジェント・レーダ・パルスの特性評価に最適な解析ソリューションを提供します。RTSAには、他のアナライザには無い、トランジェント信号を測

定するための優れた解析、表示機能があります。FFTのオーバーラップ、周波数マスク・トリガ (FMT) と20nsの分解能、さらに自動パルス解析機能により、最新のレーダ、EW、ELINTシステムの効率的なトラブルシューティングのための詳細な診断が可能になります。



▶ 図1：一般的なレーダ・パルスの特性により、重要なレーダ・システムの性能が決まります。

従来、レーダ・パルス測定は、回路設計エンジニア、製造テスト・エンジニア、フィールド・エンジニアにとってとても難しいものでした。最新のパルス圧縮技術によるレーダ・パルスのトランジェント測定には、入念なテスト手順が必要とされました。これまで、計測業界からは、このようなパルス測定機能は提供されておらず、レーダ・エンジニアは複雑なテスト手順を作成せざるを得ませんでした。

パルス測定機能を組み込んだ、当社RSA3408A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザにより、レーダ・パルス解析が一台の計測器で可能になります。リアルタイム・スペクトラム・アナライザの優れた機能により、従来の計測器では不可能だった詳細な信号表示が可能になります。

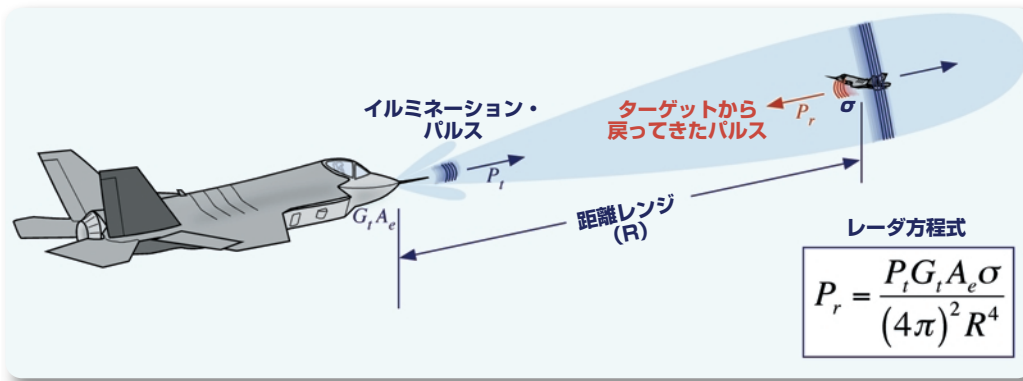
このアプリケーション・ノートでは、まず、パルス設計や測定検証をするいくつかの主要レーダ・システムの問題についてレビューします。次に、リアルタイム・スペクトラム・アナライザとその最新の機能について説明します。さらに、RTSA技術によってレーダ信号を確実に捕捉、観測する手法を説明します。捕捉の次は、RTSAのパルス測定機能を使って、圧縮パルスの測定、自動パルス

特性評価、ダブレット・テストについて説明します。最後に、レーダ・パルス特性評価で使用するリアルタイム・スペクトラム・アナライザの利点について、簡単にまとめます。

パルス信号の基礎

一般的に、レーダはRFパルスを発射し、戻ってくるエコーによってターゲットを検知します。RFパルスは光速で伝播しますので、信号が戻るまでの時間は、ターゲットからの距離に比例します。これは、目標から反射されたエネルギーを利用する一次レーダに適用されます。応答器が信号を再送する二次レーダの場合は、再送のための遅延時間が追加されます。RFパルスの特性は、レーダの能力に関わるかなりの部分に影響するため、EW（電子戦）やELINT（Electronic INTelligence）技術者にとって重要な特性です。パルス特性には、その信号を発射したレーダに関する重要な情報や、それを搭載した、航空機、船舶、飛行体といったものに関する情報が含まれているかもしれません。

それでは、一般的なパルスに関する用語と、それがシステムの性能にどのように関係するかを説明します。



▶ 図2：レーダ・パルスを発射して、ターゲットに照射します。信号の一部がターゲットで反射してレーダの受信機に戻ります。発射したパルスとレーダ・エコー（戻ってきた信号）の時間差により、ターゲットまでの距離がわかります。送信機と受信機間の信号損失はレーダ方程式で計算され、レーダの最大有効距離レンジが決まります。

PRI（パルス繰り返し間隔）とは、パルス・サイクルが繰り返す時間間隔をいいます。PRIはPRF（パルス繰り返し周波数）またはPRR（パルス繰り返しレート）の逆数であり、1秒あたりの発射パルス数になります。PRIは、それによってレーダが機能する最高レンジや最長距離を決定する重要な項目です。

パルス・オフ時間は、レーダ・システムの最大測定レンジの指標になります。多くのレーダ・システムでは、T/R(Transmit/Receive)スイッチにより一つのアンテナを送信機と受信機で共用しています。送信機と受信機は、交互にアンテナを使用しています。送信機がパルスを発射すると、そのオフ時間に受信機はエコーを受信します。パルス・オフ時間は、受信機がエコーを受信する時間です。オフ時間が長いほど、戻りの遅延によって受信したパルスを、次の送信パルスの後に追いやることなく遠くのターゲットを捉えることができます。一方、次の送信パルスを超えて受信したパルスにより、ターゲットを近くの物体からの反射として誤認することがあります。こうした曖昧さをさけるため、多くのレーダではパルス・オフ時間を十分に長く取り、非常に遠くにある物体からの戻りのエコーをパワーとして非常に小さくすることで、次のパルスのオフ時間で間違えて検出されることを防ぎます。

レーダの最大レンジで考慮することでは、送信パワーが挙げられます。ピーク・パワーは、パルスの最大瞬間電力値です。パワー・ドループ、パルス・トップ振幅、オーバシュートも重要な要素です。ELINTエンジニアは、これらの特性を詳細に計測してレーダ品質の情報とします。

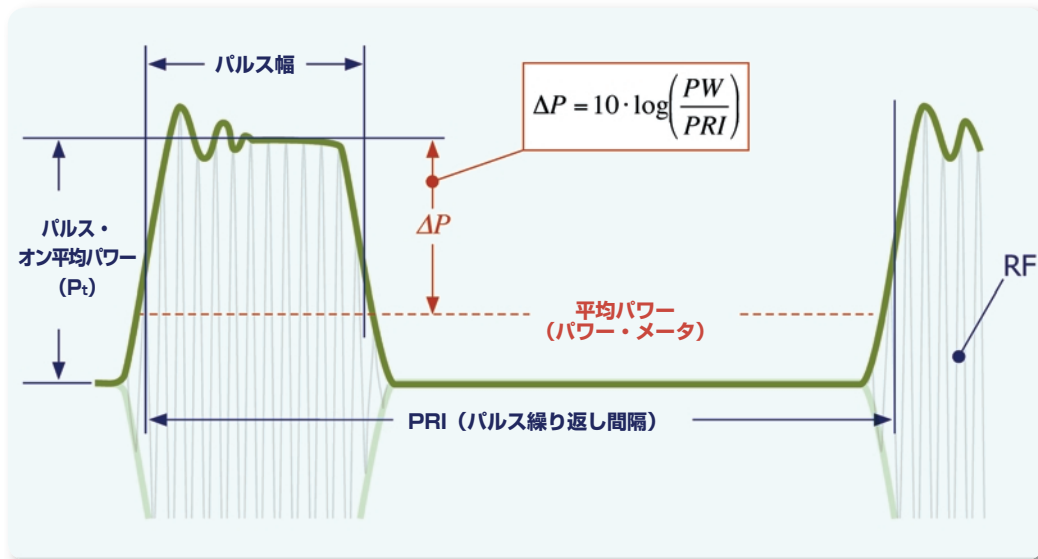
パルス・トップ振幅（Power）やパルス幅（PW）は、パルスのトータル・エネルギー（Power×Time）計算で重要です。パルスのデューティ・サイクルと電力がわかると、平均送出RF電力が計算できます（Pulse Power×Duty Cycle）。

通信システムと違い、レーダ・システムには非常に多くの信号損失があります。往復の距離は通信リンクの場合の2倍になり、さらにレーダ断面積とターゲットの反射率に伴う損失も付加されます。

レーダ方程式は、アンテナのゲイン（Gt）、面積（Ae）、ターゲット断面積（σ）およびレンジ距離（R）から受信パワー（Pr）と送信パルス・パワーの関係を表します。レンジ距離の項は4乗で大きくなり、レーダ受信信号の損失は著しく増えます。レーダ方程式には、異なるアプリケーションやアンテナ構成によって考慮しなければならない、いくつかの式があります。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図3：パルス幅が広くなるほど平均パワーが増え、最大有効レンジ距離も改善されます。

レーダ方程式により、受信した信号レベルがレーダ・パルスを検出するのに十分なパワーを持っているか、計算から求めることができます。複数のパルスを結合して信号のパワーを大きくし、ノイズを平均化することで、検出レンジ距離を増やすこともできます。

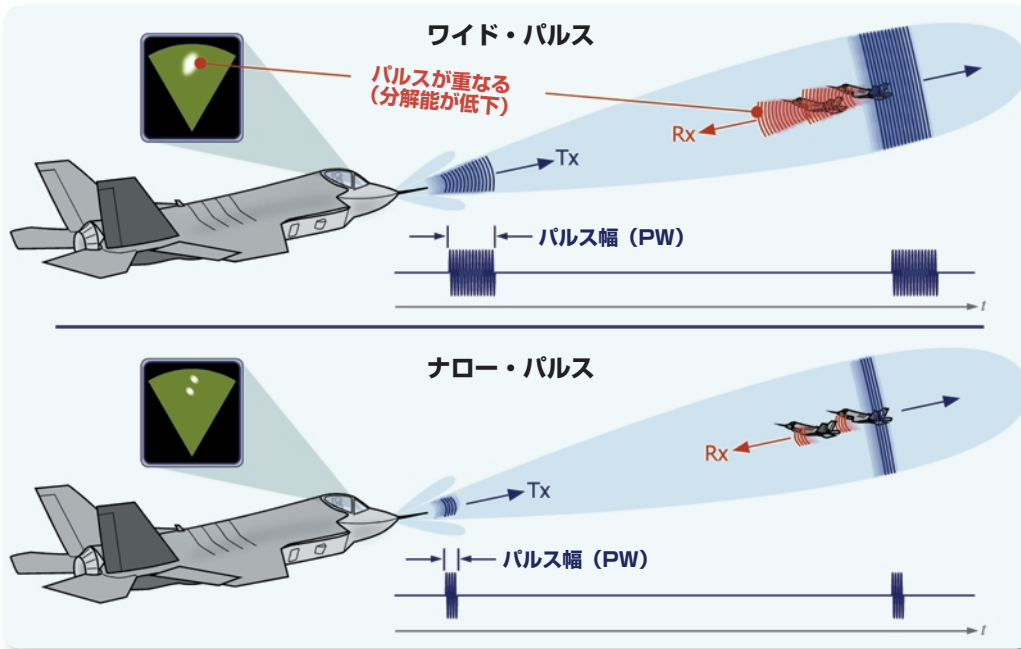
パルス幅は、レーダ信号の重要な特性です。パルス幅が広いほど、パルスに含まれるエネルギーが大きくなります。送信パルス・パワーが大きいほど、レーダの受信レンジが広がります。

また、パルス幅が広いほど、平均送信パワーも大きくなります。これは送信機に負荷がかかります。パルス・パワーと平均パワー・レベルの差（デシベル、dB）は、パルス幅をパルス繰り返し間隔で割ったもののlogを10倍することで簡単に計算できます。

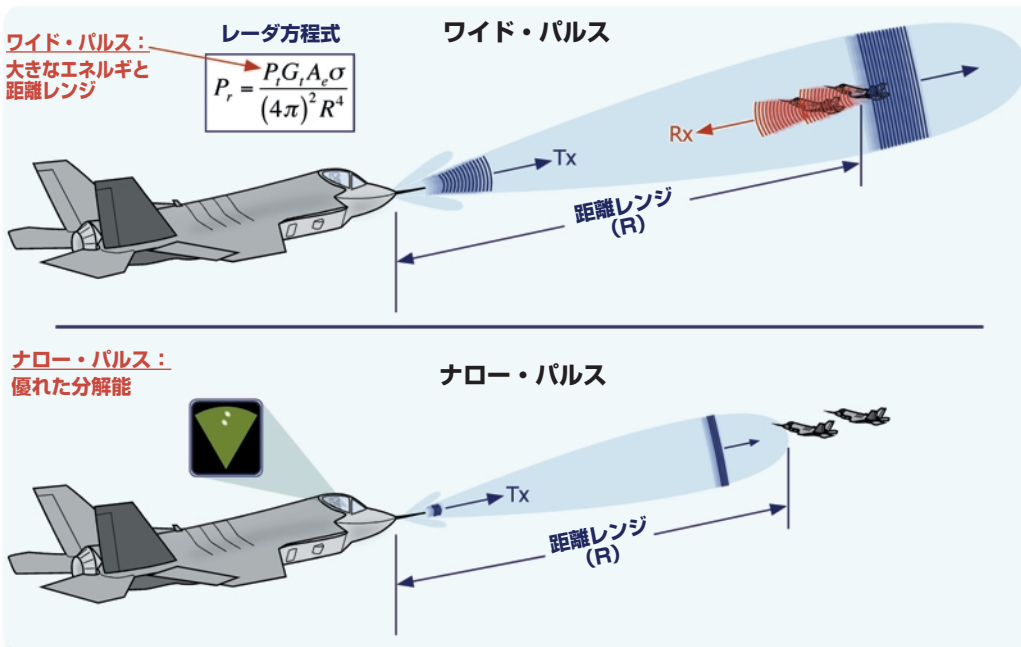
したがって、レンジ距離はパルス特性と伝播損失で制限されます。PRIとデューティ・サイクルにより、戻ってきたエコーの最長許容時間が設定され、送信されるパワーまたはエネルギーは、バックグラウンド・ノイズより大きくレシーバに受信される必要があります。

パルス幅はまた、レーダの最小分解能にも影響を与えます。長いパルスのエコーは時間で折り重なり、一つのターゲットか、複数のターゲットかを特定することができません。長いリターン・パルスは、旅客機、または小型の物体が寄せ集まっているか、小型機などがフォーメーションを編成しているなどが考えられます。十分な分解能がないと、戻ってきたエコーから物体の数を特定するのは不可能です。パルス幅が狭いとエコーが折り重ならず、分解能を上げることができます。

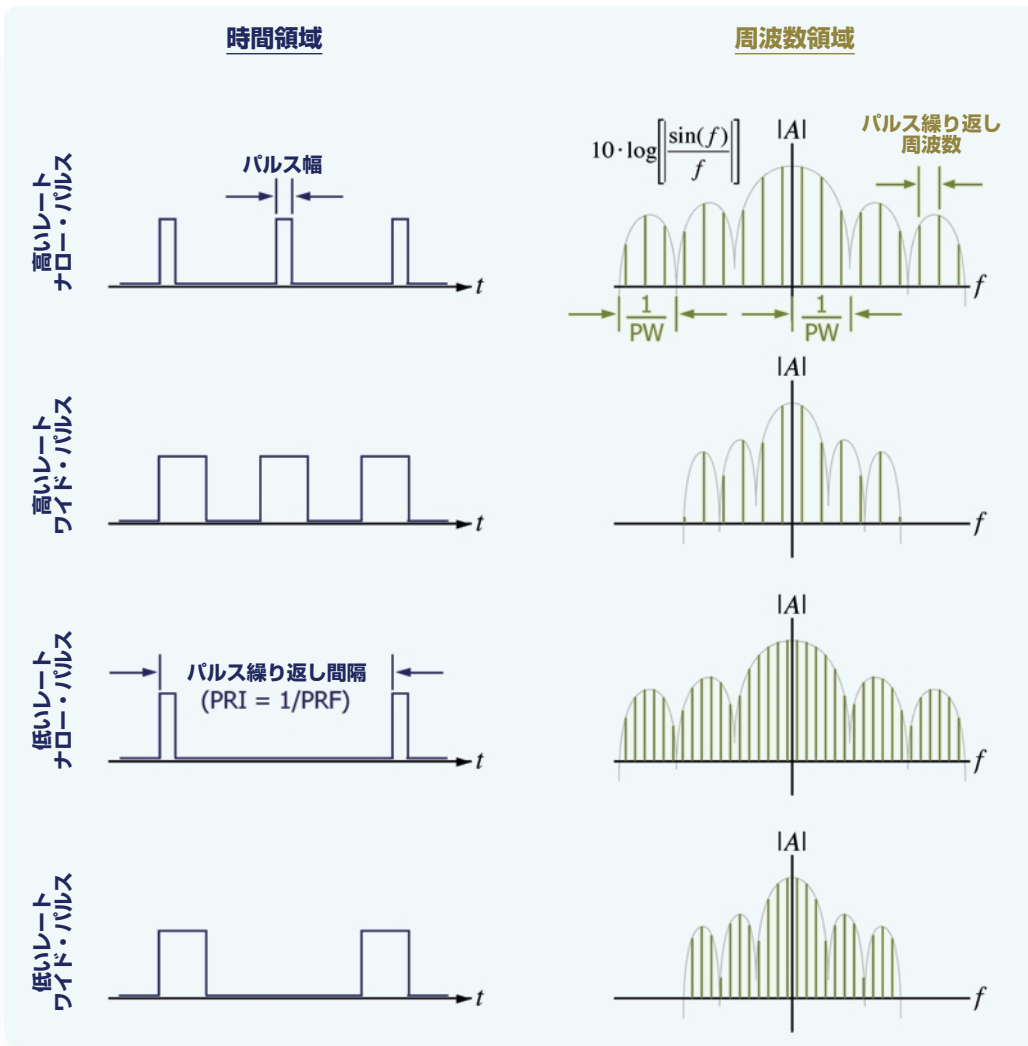
このようにパルス幅は、分解能と検出レンジ距離という2つの重要なレーダ・システムの能力に影響します。残念ながら、この2つは互いに相反します。パルス幅が広いということは、レンジ距離は長くなりますが分解能が低下します。一方、パルス幅が狭いと分解能は上がりますが、レンジ距離は短くなります。また、狭いパルスを正確に発射、受信するためには、より広帯域のシステムが必要になります。このためには、パルスのスペクトラムも重要になってきます。



▶ 図4：パルス幅が広いと、一つの戻ってきたエコー、すなわち、一つの物体として認識してしまいます。パルス幅が狭いと、レーダの分解能が上がって個別のエコーとして認識されますが、広帯域のシステムが必要になります。



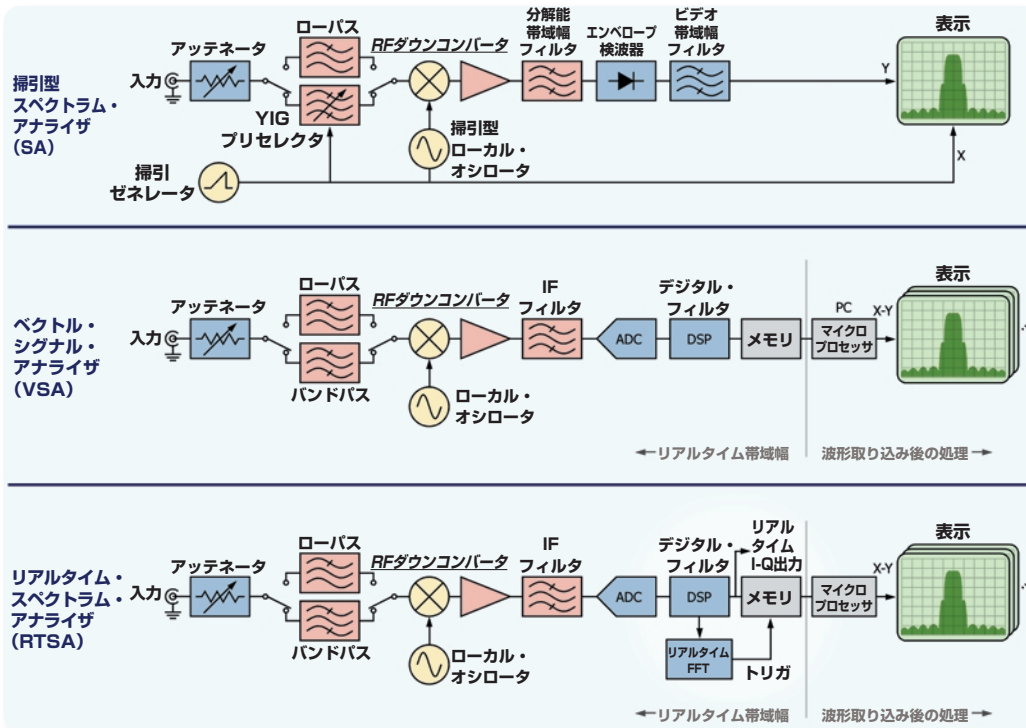
▶ 図5：レーダ・システム設計では、最長距離レンジと最小検出サイズにはトレードオフがあります。ワイド・パルスでは大きなパワーと距離レンジが得られ、ナロー・パルスではより小さなターゲットを検出できます。



▶ 図6：パルスの繰り返しレートとパルス幅によってスペクトラル応答が変化します。時間領域応答を周波数応答に変換することで、PW、PRI、PRFを変化させた場合の影響を確認できます。

パルスの時間領域特性には、周波数領域と等価なものが含まれています。幅の狭いパルスは、幅の広いパルスに比べてスペクトラムが広がっています。同様に、パルスの繰り返し周波数が高い場合は、低い場合に比べてスペクトラム成分の間隔が広くなっています。

ここまでは、レーダ性能におけるパルス特性とその影響について簡単にレビューしてきました。次に、信号解析技術について説明します。



▶ 図7：アナライザの種類の違いを簡易ブロック図で示します。リアルタイム・スペクトラム・アナライザは、他のアナライザにはない、独自の構成になっており、パルス信号や間欠的なRF信号をより効率的に取り扱うことが可能です。

RTSAの概念について

リアルタイム・スペクトラム・アナライザのユニークな機能を理解する前に、現在入手可能な3種類のスペクトラム・アナライザの簡易ブロック図をレビューしてみます。入力アッテネータなど類似点も数多くありますが、以下のような重要な相違点があります。

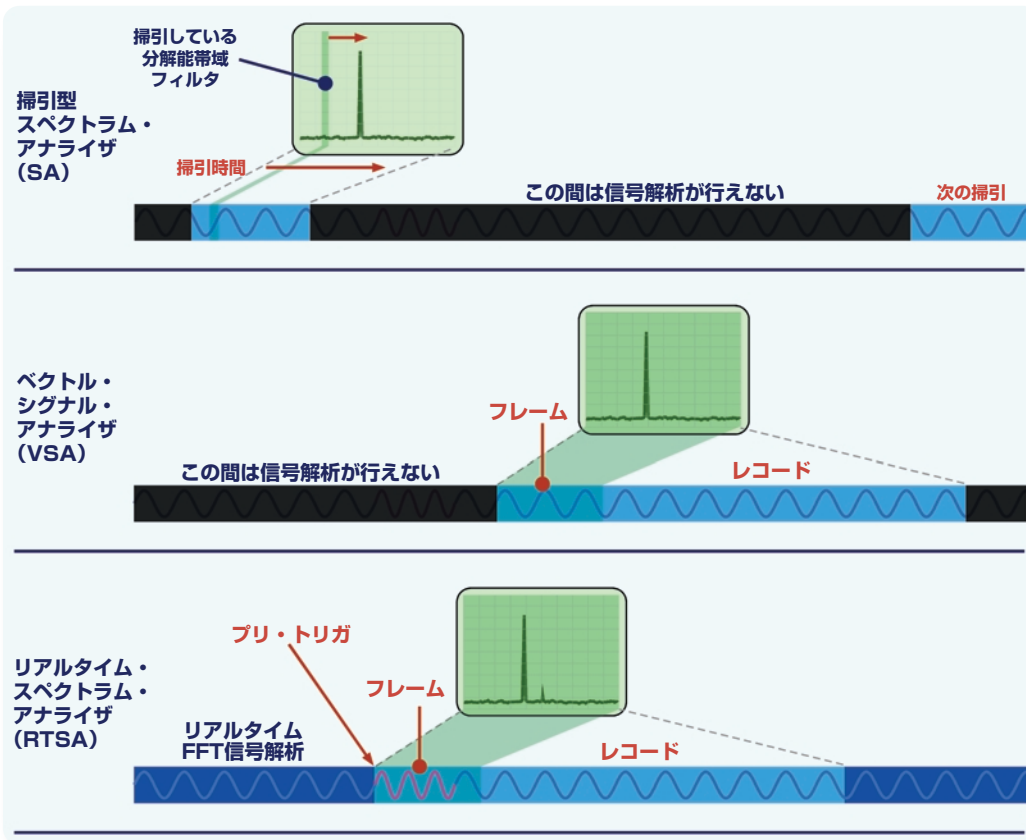
最も初期に開発された掃引型スペクトラム・アナライザでは、スペクトラムのダウンコンバータの前段に、比較的狭い同調型プリセレクトを使用しています。信号はダウンコンバートされ、分解能帯域幅フィルタを通過し、検波された後表示されます。この間、ローカル・オシレータは常に周波数スパンを掃引しています。

現在のベクトル・シグナル・アナライザ (VSA) では、同様にダウンコンバートしますが、ローカル・オシレータが同期をとります。連続した周波数は、スペクトラム・アナライザのIF帯域においてローカル・オシレータのステップごとにセグメントされて時間軸領域でデジタル化されます。続いてデータをメモリに保存し、FFT (Fast Fourier Transform) で周波数領域に変換してスペクトラムを表示します。

RTSAのブロック図では、多くの要素や信号取り込みプロセスは、従来からのSAやVSAに似ていますが、重要な相違点がいくつかあります。RTSAと現在のFFTベースのアナライザで最も異なる点は、リアルタイム・デジタル信号プロセスのハードウェアにあります。これは、従来のスペクトラム・アナライザにはない点です。このハードウェアの要素によって、RTSAの信号取り込みや解析能力が異なってきます。次に、この点について説明します。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図8：掃引型スペクトラム・アナライザでは、解析できない時間が多く存在します。同様に、ベクトル・シグナル・アナライザでも、信号レコード間ではスペクトラムの変化は検出できません。リアルタイム・スペクトラム・アナライザでは、記録する前に信号の変化を検出することができます。これにより、重要なイベントにトリガして信号の詳細な解析が記録でき、無駄な測定領域を無視することができます。これは、近くにある信号よりも弱いレーダ・パルスを確実に取り込むなど、複雑なレーダや電波監視などのアプリケーションで非常に有効な機能です。

掃引型スペクトラム・アナライザでは、入力信号スパンを連続的に解析することができません。スパンを掃引している間は狭帯域の分解能で、しかも同調している周波数でのみ解析できます。多くのスペクトラム周波数の変化は検出できず、対象となる周波数になるまで待つしかありません。測定したい信号 (SOI、Signal Of Interest) が過渡現象の場合は、まったく捉えることができません。この問題に対応するために掃引間の期間をリ

トレースしますが、それでも解析はできず、SOIに対する解決にはなりません。

ベクトル・シグナル・アナライザの基本的なIFレベル・トリガでは、複雑なスペクトラムの背後に隠れた重要な間欠的周波数を記録することはできません。

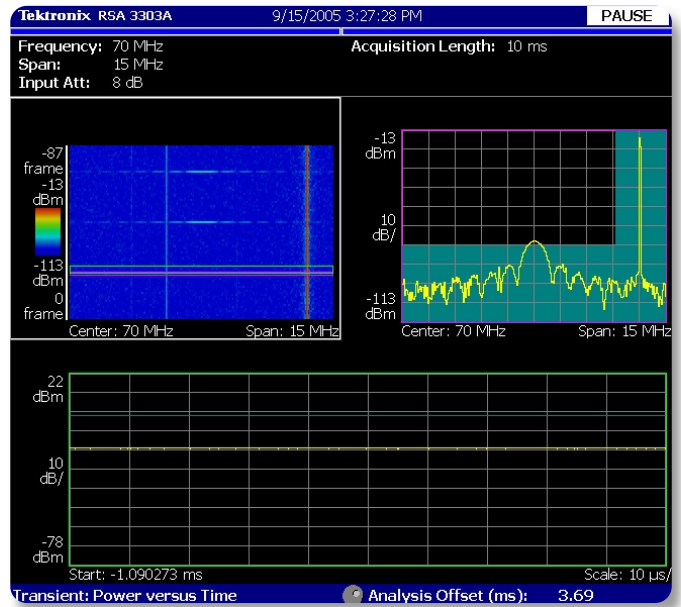
リアルタイム・スペクトラム・アナライザは、VSAと同様に、詳細な解析、表示のために時間サンプルした信号を取り込みます。しかし、他のアナライザと異なり、RTSAのリアルタイムFFTは常にスペクトラムの変化を検索します。スペクトラム・イベントを検出すると、リアルタイムFFTはその次の後処理のために、イベントを失うことなくデータ・レコードにトリガします。これがRTSAのユニークな点であり、すべてのスペクトラムを連続的に調べ、対象となるイベントを検出し、確実に取り込んで解析します。リアルタイムFFTでは、100%の確率で、EW、ELINTアプリケーションのレーダで重要な過渡現象のパルス・スペクトラム・イベントを検出して取り込むことができます。

当社のリアルタイム・スペクトラム・アナライザはまた、ユニークなパルス測定機能を搭載しています。パルス測定機能は拡張測定解析機能の一部であり、優れた自動パルス測定が可能です。RTSAは、SA、VSA、変調アナライザなど、従来からある計測器と置き換えることができ、さらにこの機能により、強力な問題解決ツールとなります。

信号の解析、診断の前には、まず対象となる信号を取り込むことが必要になります。ここでは、他のアナライザにはできない、RTSAが持つ信号取り込み技術について説明します。

レーダ信号の取り込み

リアルタイム・スペクトラム・アナライザには、ユニークなDSPハードウェアが装備されており、時間領域の波形サンプルを、リアルタイムに周波数領域に変換することができます。当社特許の周波数マスク・トリガ（FMT）は、複雑なレーダや電波監視のアプリケーションまたは現実のスペクトラム・バックグラウンドで捕らえることの難しいレーダ・パルスや周波数異常を確実に取り込むことができます。



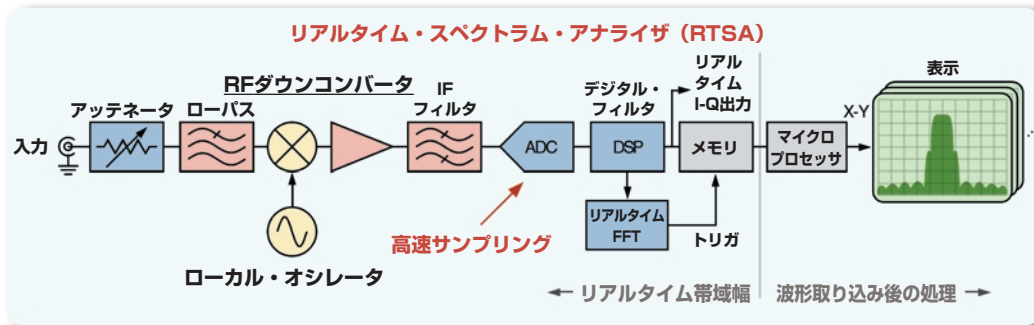
▶ 図9：リアルタイム・スペクトラム・アナライザの周波数マスク・トリガにより、レシーバの70MHz IFからのレーダ・パルスが確実に取り込めます。ローカル・オシレータのダウンコンバージョン・リークがIFのすぐ上に確認できます。

対象となるパルス・イベントを取り込む手順としては、まずトリガ・メニューで周波数マスク・トリガを設定します。RTSAでは、外部トリガ、パワー（IFレベル）トリガ、単発取り込み、連続取り込み、周波数マスク・トリガなどを使用することができます。

複雑な周波数マスクも、マウスのダブル・クリックでポイントを追加し、適切な位置までドラッグすることでマスクする領域を指定できます。マスクは、誤ったトリガを避けるため、ノイズ・フロアのやや上に設定します。周波数マスクが設定されると、マスクを外れたスペクトラム・イベントにトリガし、取り込まれます。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート



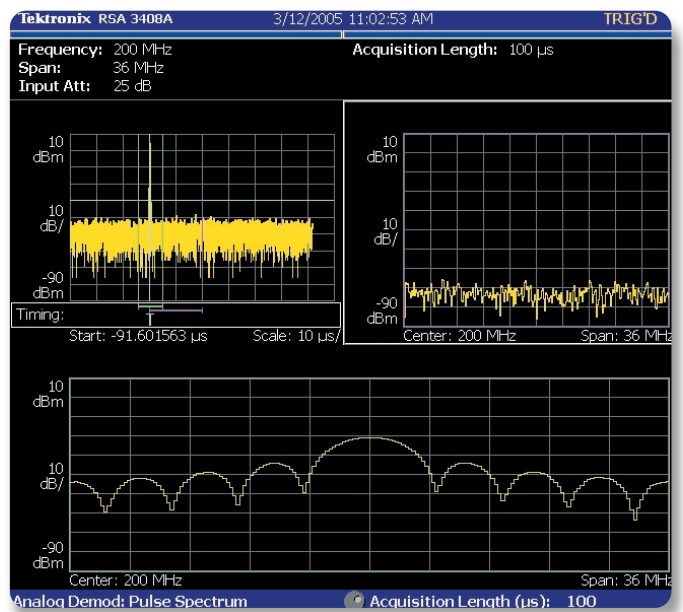
▶ 図10：リアルタイム・スペクトラム・アナライザの簡易ブロック図。IFをデジタル化し、データをデジタル処理します。RSA3408A型の高速度サンプリングでは、20nsの時間サンプリング分解能、36MHzのリアルタイム帯域幅があります。

レーダの運用では、トランジェント・パルスのエコーが近傍のスペクトラム・エミッションの信号レベルよりもはるかに小さいことがあります。このような場合、IFトリガでは確実な検出ができません。しかし、周波数マスク・トリガでは、入力信号のスペクトラムをリアルタイムにトリガ・マスクと比較し、微小な異常信号であっても検出することができます。

確実にパルスを検出することも重要ですが、検出したとしても、明瞭な表示や取り込んだデータの精度などに影響を与える問題があります。

RSA3408A型のブロック図では、すべてのIFは高速サンプリングのADコンバータによってデジタル化されます。

RSA3408A型は、36MHzまでの周波数スパンでシームレスに信号を取り込みます。パワー対時間モードでは、時間領域測定に最適化されたフィルタによって20nsの分解能を実現しています。これにより、非常に狭いパルス列やパルスの細部も解析できます。



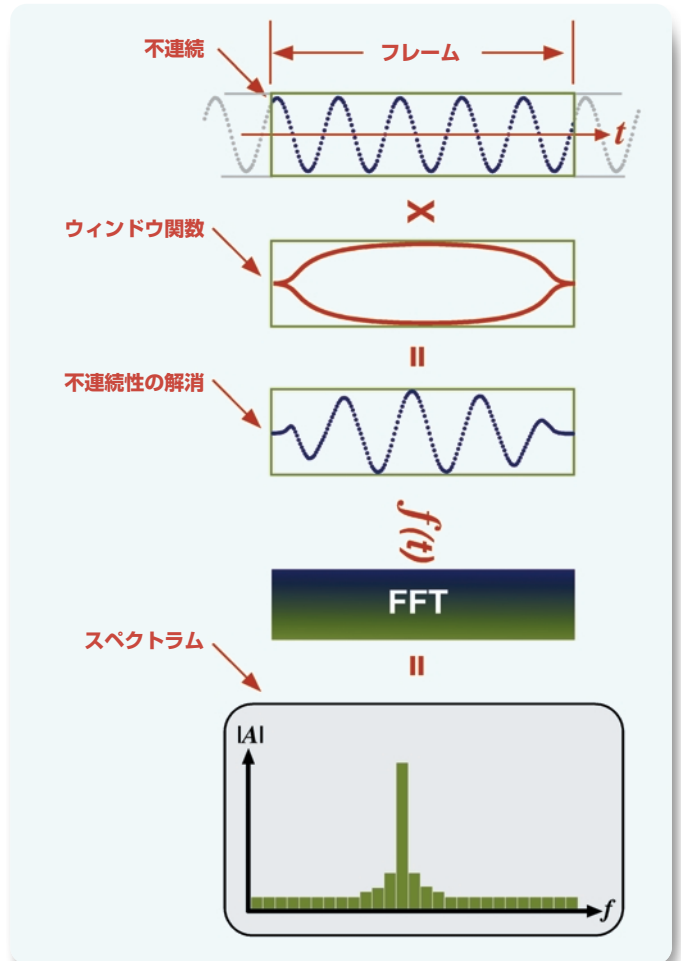
▶ 図11：RSA3408A型の高速度サンプリングにより、非常に狭いレーダ・パルスでも取り込むことができます。特殊なパルス・スペクトラム・モードを使用すると、通常のスペクトラム・モードでは見えない、非常に狭いパルスでも簡単に見ることができます。

エイリアスを避けるためには、対象信号の少なくとも2倍の周波数(ナイキスト周波数)で入力信号をサンプリングする必要があります。

時間サンプルされたデータは、フレームという単位で区分けされます。各フレームには、FFT処理に必要な整数個のデータが含まれています。

各フレームの両端にあるデータ・サンプルは、フレームが生成される前と違い、フレームを越えて連続しないため不連続が発生してしまいます。この不連続性により、時間領域から周波数領域に変換した際、スペクトラムの拡散が発生します。フレーム自体がパルスになってしまいます。この不連続性を最小にするためには、ウィンドウ関数でサンプル・データの振幅をスケールし、各フレーム両端のサンプル振幅をゼロにします。RTSAには、ハニング、ハミング、ブラックマン、ブラックマン/ハリス、パルゼン、ウェルチなど、豊富なウィンドウ関数を装備しています。

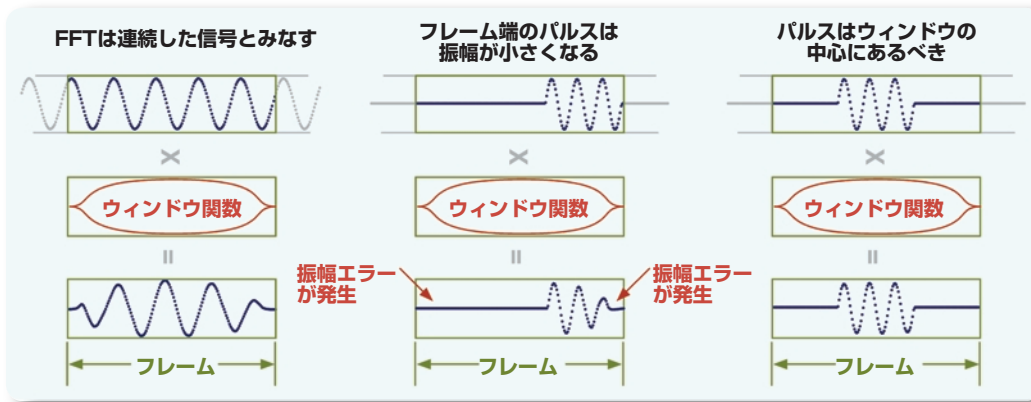
ウィンドウ関数によってフレームのデータがスケールされた後、FFTが実行され、データは振幅 対 時間から振幅 対 周波数に変換されます。FFTでは、各周波数セグメントの振幅を決定するために、膨大なデータ計算が必要になります。



▶ 図12: FFTのウィンドウ関数により、切断されたことによる不連続性が解消されます。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図13：FFTでは、フレームを越えても信号は連続しているものと見なします。フレームと、ウィンドウによってスケールリングされた振幅に大きな差があると、振幅エラーが発生します。RTSAでは、パルスをウィンドウの中央に配置することにより防ぐことができます。

FFTプロセスでは、データ・フレームを越えても信号が連続しているものと見なします。不連続ポイントまたは一つのフレーム長よりも短いパルスでは、スペクトラム表示の振幅でエラーが発生します。フルフレーム長よりも短い信号は、フレーム全体を占める信号に比例して低く表示されます。これは、レーダ・パルスの解析では問題となります。さらに悪いことに、フレーム後端のトランジェント・パルスは、ウィンドウ関数によってさらに振幅の減少または振幅の喪失となることがあります。これらは、重大な測定エラーとなります。

パルス信号の場合、パルスがデータ・フレームの中心にあるときに最も正確なFFTの結果が得られ、フレーム長とほぼ同じになります。実際、こうすることでパルス・データは連続データに近づきます。

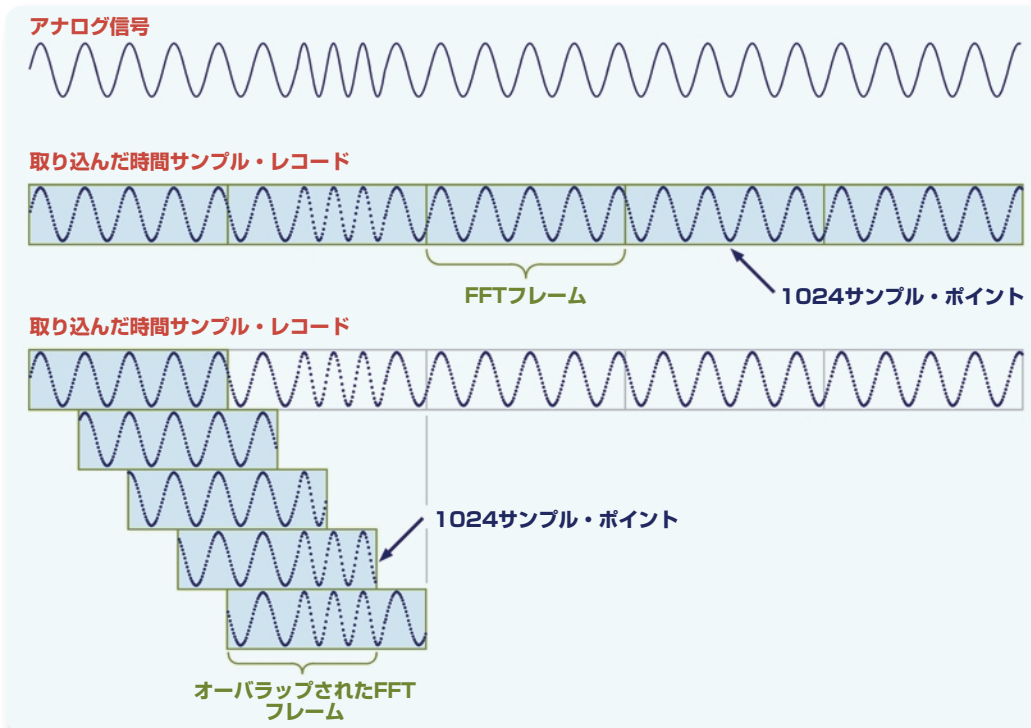
RSA3408A型のパルス・スペクトラム・モードでは、パルスをユーザがフレームの中央に配置して、測定エラーを除去できます。フルフレームよりも短いパルスは、それでも振幅が減少します。しかし、適切に中央に配置することで、ウィンドウ関数によるエラーは防ぐことができます。RTSAのこの機能は、レーダ信号をより正確に測定できるように設計されています。

FFTのオーバーラップ

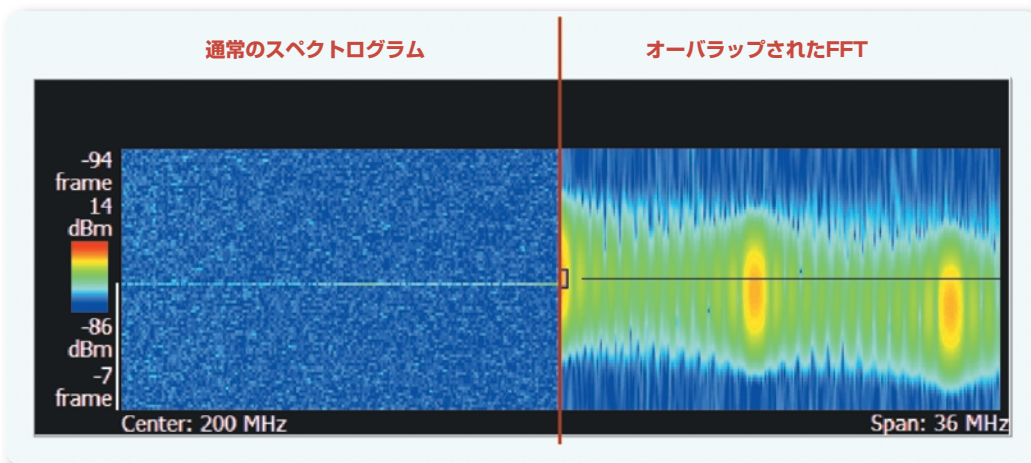
リアルタイム・スペクトラム・アナライザはFFTフレームをオーバーラップすることができ、トランジェント信号に最適化されていないアナライザではスペクトラムの詳細が観測できない、という問題を解決します。

狭いレーダ・パルスでは、すべてのパルスがスペクトログラム・データの本一のラインに含まれてしまうことがあります。これにより、一般的なレーダ・スペクトログラムから有益な情報を解読することが非常に困難になります。

RTSAでは、多くの重複したFFTフレームを分離することができます。これにより、スペクトログラムを時間で引き伸ばすことと同様の効果が得られ、詳細に表示することができます。FFTフレームのオーバーラップは、迅速なレーダ・パルスの解読が要求されるELINTでは有効です。例えば、高PRF信号がミサイル・ターミナルの自動誘導レーダから来ていないかを直ちに知りたい、または、距離レンジの曖昧さを取り除くために、高PRF信号がパルス圧縮コーディングのロング・レンジ・レーダ・パルスになっているかを直ちに知りたいなどの要求に有効です。FFTのオーバーラップにより、レーダ・パルスの詳細をすばやく視覚化することができます。



▶ 図14: アナログ入力信号は、時間サンプリング・レコードとして取り込まれます。レコードは1024サンプル・ポイントのフレームに解釈され、周波数領域にFFT変換されます。RTSAではフレームをオーバーラップし、さらに詳細な解析のためにFFT変換することができます。



▶ 図15: 通常のスpektログラムでは、詳細を見ることはできません。オーバーラップされたFFTでは、時間軸スケールを引き伸ばすことができ、今まで見ることのできなかつた特性をはっきりと見ることができます。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート

同様に、オーバーラップFFTによってスペクトラム表示は改善され、ひとつのパルス情報は連続した複数のフレームで表示されます。オーバーラップされたフレームにより表示アップデートがスムーズになり、より詳細に、よりスムーズに再生できます。

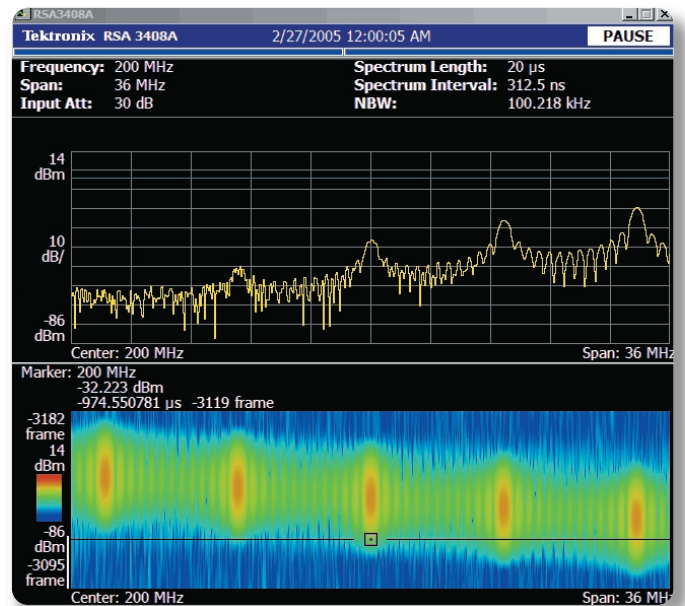
オーバーラップにより、パルスをフレーム内のいろいろな位置に配置することもできます。これにより、正しい振幅が表示でき、フレーム内の適切な位置に配置されなかった場合にウィンドウ関数によって正しく表示されない、などの間違いを防ぐことができます。

図16では、連続的に離れている信号イベントが、オーバーラップFFTによって時間的に引き伸ばされ、同一時間のように表示されています。オーバーラップにより時間的に引き伸ばすことができるため、短時間のトランジェントの視認性が大幅に改善できます。

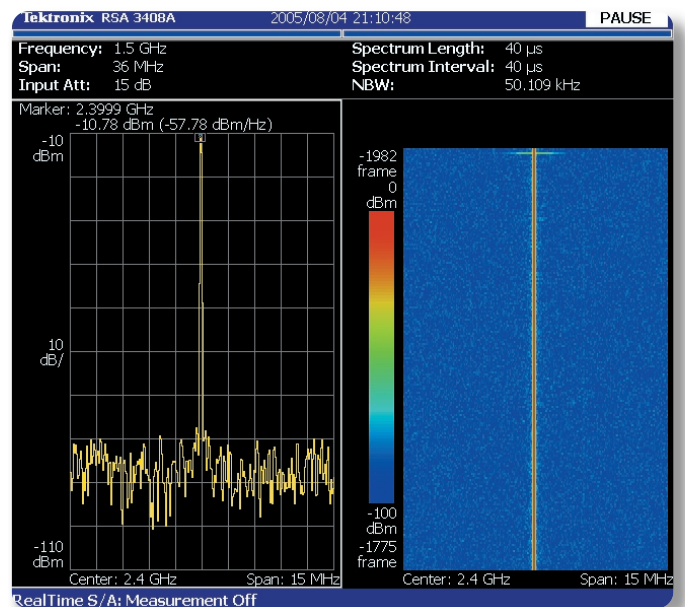
RTSAには、ズーム機能により詳細な表示を行えるよう、表示機能を強化しています。信号を取り込んだ場合、広い周波数スパンが使えることは有利です。これにより、問題を引き起こす可能性のある信号を広いスペクトラムで調べることができます。

アナライザの水平表示ピクセル数は有限ですので、各FFTビンまたは周波数バケットのノイズ帯域 (NBW) は、使用可能なピクセル数に合うように設定されます。例えば、15MHzスパンで600ビンが利用可能な場合、各FFT周波数ビンは25kHz幅になり、これは周波数マーカの分解能と等価になります。図17のような縦型の表示の場合、50.109kHzの分解能で300表示ビンが利用可能です。

正確なノイズ帯域は、ウィンドウの種類とRTSAの周波数スパンの設定で決まります。ブラックマン/ハリス4Bウィンドウが選択された場合、ノイズ帯域はビン幅のほぼ2倍になります。



▶ 図16：オーバーラップFFTにより、周波数ホッピング・レーダの表示が大幅に改善されます。



▶ 図17：RTSAが、15MHzスパン内にある潜在的なスプリアス信号を含む信号スペクトラムを調べています。

広いスパンで信号を探すこともできますが、NBW（ノイズ帯域幅）が増加してスペクトラム表示でのノイズ・フロアが上がり、トータル・パワーがフルスケールまで上がるため、ローレベルの信号を観測することが難しくなります。

広いスパンに隠れたスプリアス信号を観測するため、RTSAではスペクトログラム・ズーム機能を装備しています。ズーム機能は、スペクトログラム領域でカーソルをドラッグするだけで実行できます。スパン、中心周波数、ノイズ帯域幅は、関連したスペクトラムが詳細に見えるよう自動的に調整されます。ズーム・モードでは周波数スパンのサブセットのみが使用されますので、RTSAではノイズ帯域幅は狭くなり表示平均ノイズ・レベル（DANL）は低くなります。

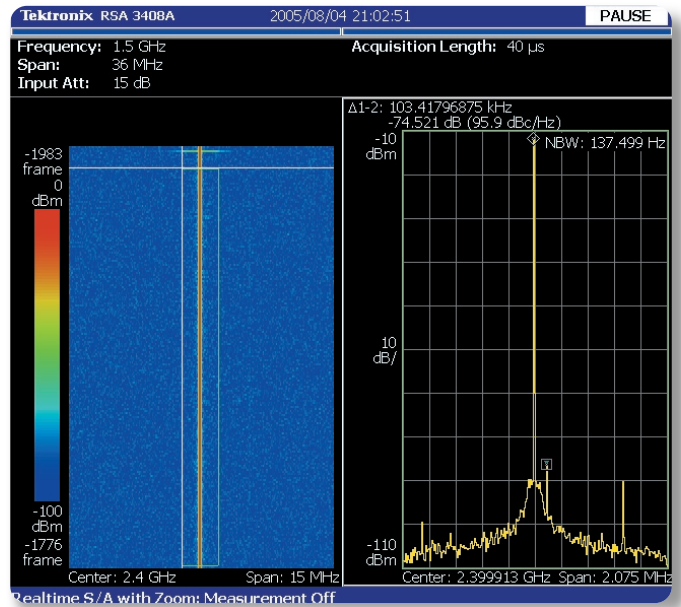
ズーム機能では、信号を取り直すことなく、アナライザの最良の分解能でスペクトログラムの詳細を迅速に調べることができます。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザには、波形を取り込んでデジタル処理し、連続したデータを詳細に表示するといった優れた機能があり、迅速に評価するための情報を提供します。強力な解析機能は、この優れた表示機能だけではありません。表示された信号やスペクトラムの特性測定も重要な要素です。

レーダ信号の解析

リアルタイム・スペクトラム・アナライザの画期的なパルス測定機能と時間相関の取れたマルチドメイン表示は、レーダ信号解析において業界をリードします。

パルス測定機能は、レーダ信号の特性評価のための豊富な自動測定機能を備えています。RTSAの測定機能は、多くの民生用RFデバイスで有効な結果を得られていると同様に、レーダ信号解析においても、迅速、簡単な解析が可能にしています。また、特殊なELINTパルス・アナライザに比べても安価です。



▶ 図18：スペクトログラム・ズームはRTSAのユニークな機能で、スパン、中心周波数、NBWを自動的に設定し、短時間に信号の詳細を表示することができます。

時間相関の取れたマルチドメイン表示と共に、個々のパルス特性もすばやく測定できます。パルス測定機能を装備したRTSAは、従来からある測定ツールと置き換えることが可能です。

前半で説明した一般的なパルス特性の簡単な測定を例にとり、パルス測定機能を説明します。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート

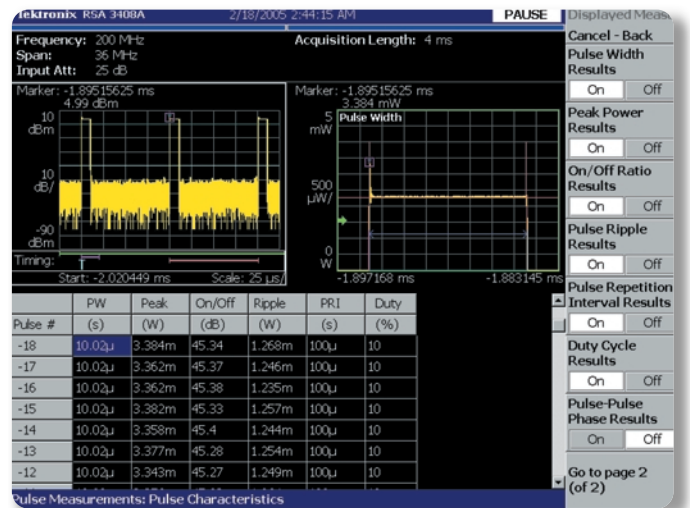
RSA3408A型で基本的なパルス測定を行う場合は、「時間」モードに設定し、表示されるソフト・キーでパルス測定を選択します。パルス測定項目は、「View Define」ソフト・キーを選択した後、「Display Measurements」ソフト・キーを選択することで表示されます。

RTSAでは、パルス幅、ピーク・パワー、オン/オフ比、パルス・リップル、パルス繰り返し間隔、デューティ・サイクル、パルス間位相、チャンネル・パワー、占有帯域幅 (OBW)、放射帯域幅 (EBW) および周波数偏差を測定し、表示することができます。

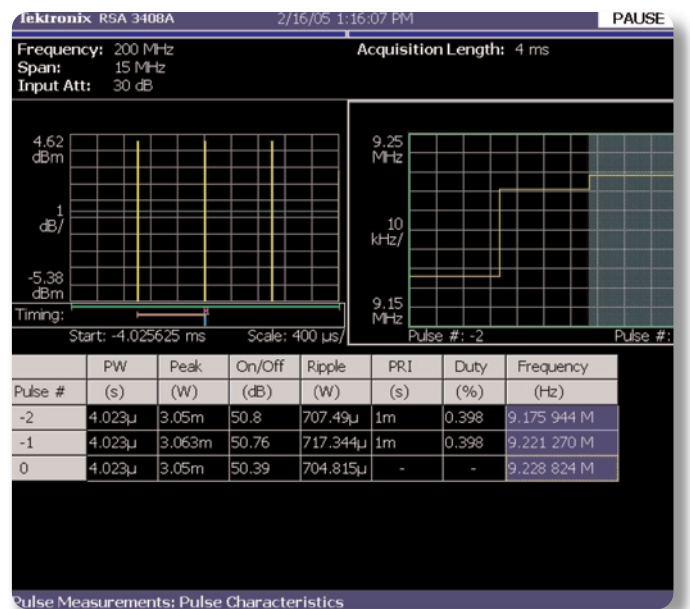
一回の取り込みで複数のパルスが取り込まれた場合、RTSAは各パルスを測定し、各パルスに番号を付けて自動的に表形式にして測定結果を表示します。RTSAには時間相関機能がありますので、測定一覧表でパルスを選択すると、電力対時間表示のマーカが、自動的に選択されたパルスに移動します。同様に、スペクトログラムのマーカは、スペクトログラム機能のパルス番号に対応します。

パルス測定機能は各パルス測定を表形式で表示するだけでなく、グラフィック表示することもできます。このグラフィック表示は、その傾向から測定評価にも役立ちます。

例えば、レーダ送信機が過熱してくると、動作周波数はドリフトします。「View Select」を選択し、次に「View Define」を選択すると、各パルスの周波数がグラフィックに表示され、複数のパルスに対する周波数ドリフトのトレンドがわかります。このような測定はレーダ・システム設計、製造に役立つだけでなく、ELINTエンジニアにも重要な情報となります。詳細な信号トレンド解析により、遭遇する放射体の種類を識別することもできます。



▶ 図19: RSA3408A型のパルス測定機能により、一般的なパルス測定が自動的に実行できます。



▶ 図20: パルス測定機能では、表形式とグラフィックで測定値結果を表示します。

マルチ・パルスの解析

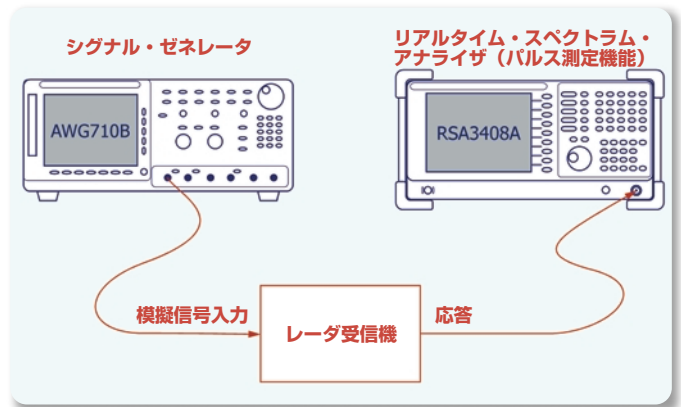
RTSAは、マルチ・パルスの測定にも応用できます。一例として、レーダ受信機の性能をテストするために一般的に使用される「パルス・ダブレット」があります。パルス・ダブレットとは、近接した二つのパルスで、近接した物体からの戻りのエコーを模しています。パルス・ダブレットは、レーダ受信機の分解能をテストするのに最適です。当社AWG710B型などのシグナル・ゼネレータを使用すると、レーダ受信機のためのいろいろなパターンパルスのパルス・ダブレットを作ることができます。

AWG710B型任意波形ゼネレータには、4.2GS/sのサンプリング・レートと8ビットの分解能があり、優れた速度と信号忠実性を実現しています。高速なサンプリング・レートにより、EW、ELINTにおけるレーダの1.0GHz IFポートに直接入力できます。さらに、AWG710B型には、グラフィックによる波形生成と強力な波形シーケンサが装備されており、複雑なレーダ信号、EW用テスト信号をすばやく生成することもできます。

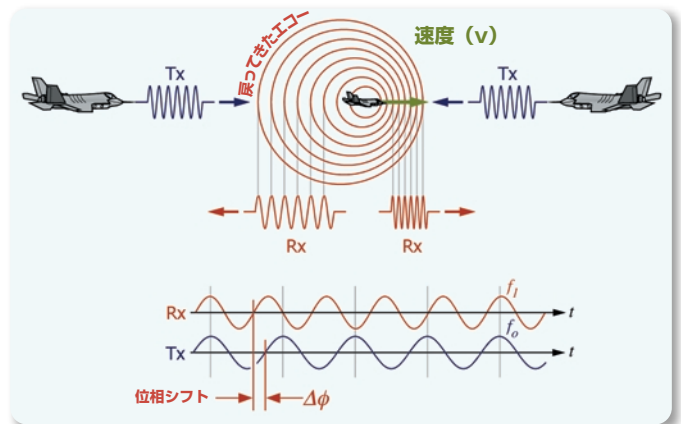
AWG710B型は、当社のレーダ・テスト・ソリューション関連製品のひとつであり、パルス・ダブレットの信号生成だけでなく、複雑なEW用テスト信号を生成することもできます。RTSAはパルス・ダブレット・パターンを検証し、レーダによって発生する劣化を観測することができます。

例えば、パルス・ダブレットを使用した評価用アプリケーションとして、レーダ内で発生するパルス間の位相変化測定があります。レーダの中には、ターゲットの速度を測定するのに位相変化を利用するものがあります。

移動するターゲットは、発射パルス、受信パルスにおいて周波数のドップラ・シフトを発生させます。ドップラ・シフトは、送信信号と受信信号間の位相シフトとして観測できます。送信信号と受信信号間の位相シフトを定期的に測定することで、速度差をすばやく測定することができます。



▶ 図21：AWG710B型で複雑なレーダの模擬信号を発生し、RSA3408A型で観測、測定します。



▶ 図22：物体間の位置関係に依存する相対速度差により、戻ってくるエコーにドップラ・シフトが発生します。送信信号と受信信号の周波数の差は、位相シフトとして観測できます。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

▶ アプリケーション・ノート

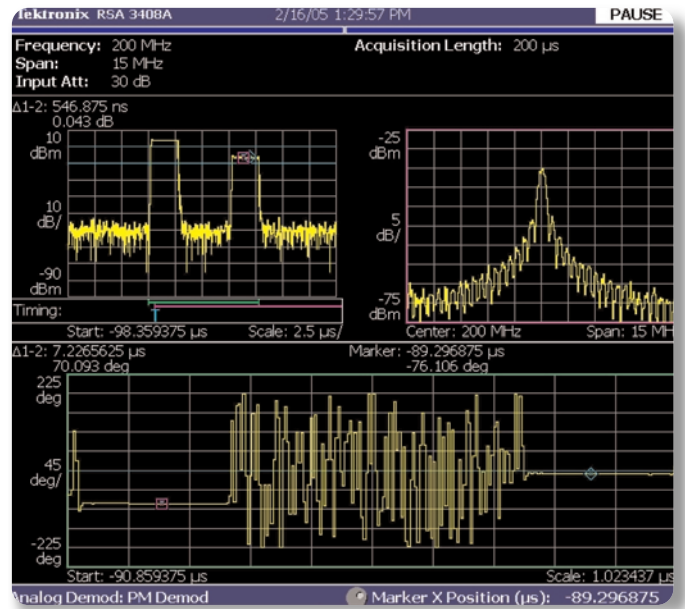
したがって、変動するエコーの振幅レベルに対する受信機の位相安定度は、正確な速度測定には非常に重要です。しかし、レーダ受信機の多くのコンポーネントには、AM/PM歪みなどの非直線性効果が存在し、戻ってきたエコーの振幅によって望ましくない位相シフトが発生します。この位相シフトは、速度エラーとなります。

RTSAを使用すると、受信機の位相安定度を簡単に測定できます。まず、AWG710B型から振幅の異なるコヒーレント・パルス・ダブレットをレーダ受信機に入力します。2つのパルスの位相差は、受信機チェーンの出力で観測されます。「Demod」メニューから位相復調表示を選択すると、各パルスの位相対時間がグラフィック表示されます。広いレンジのダブレット振幅差では、静止しているターゲットの位相差はゼロのはずです。このテストで位相シフトが大きく発生する場合は、高いダイナミック・レンジのコンポーネントが必要になります。

圧縮パルスの解析

RTSAとパルス測定機能の優れた点を、圧縮レーダ・パルスの測定で説明します。

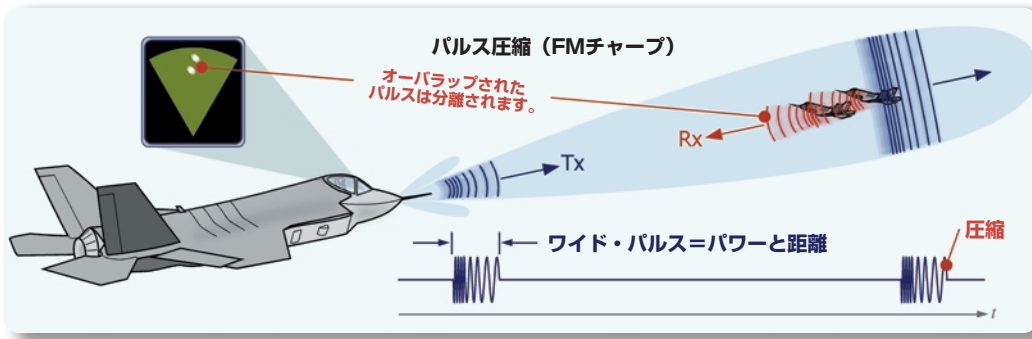
レーダ・パルスの圧縮とは、レーダ・パルスの変調を意味します。多くのレーダでは、パルス圧縮によって距離レンジ、分解能を改善しています。先にも説明したように、狭いパルスで分解能を改善することと、広いパルスで距離レンジを伸ばすことにはトレードオフがあります。パルスを圧縮することで、距離レンジと分解能が同時に改善できます。パルスを変調することで、オーバーラップされたエコーを分離することができるためです。したがって、



▶ 図23：パルス・ダブレットを時間、周波数、位相変調領域でそれぞれ表示しています。各パルスの位相シフトの相違は非直線性を示します。

表示分解能を犠牲にすることなく、大きなエネルギーで広いパルスが使用できます。

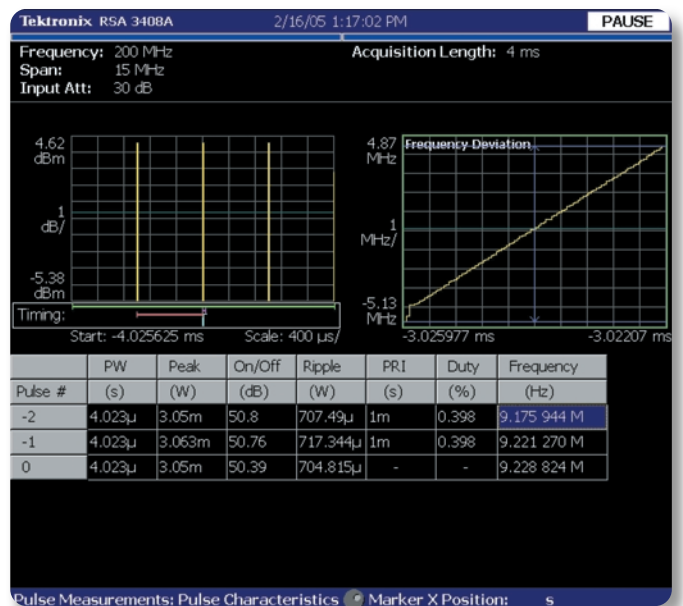
パルス圧縮には、数多くの圧縮、変調手法があります。一般には、パルス振幅を保つために、周波数変調または位相変調が使用されます。



▶ 図24: 各パルスを圧縮、変調することで、オーバーラップされた戻りのパルスを分離することができます。これにより、ワイド・パルスと長い距離を実現しつつ、戻りのパルスを分離して分解能を上げることができます。

最も一般的なパルス圧縮変調はFMチャープで、直線のFM周波数ランプが使用されます。受信機では、FMチャープのエコーは特殊なフィルタを通り、低い周波数は高い周波数よりも遅れます。これにより、パルスの圧縮または時間的に狭くすることが可能になります。幅が広く、オーバーラップされたパルスは、フィルタから明確に分離されます。

圧縮されたレーダ・パルスの特性評価では、パルスの復調も困難を伴います。RTSAのマルチドメイン表示機能により、通常のパルス測定に加えて、圧縮されたパルスの変調の解析ができます。例えば、FMチャープ・パルスはパワー対時間表示、FM変調表示およびパルス測定モードで同時に観測できます。これにより、FMスイープの直線性、パルス幅、デューティ・サイクル、周波数偏差が簡単に検査できます。測定評価は、時間相関の取れる表示でさらに簡単に行えます。一つのパルス上にマーカを置くと、関連したマーカがパワー対時間および変調表示の対応した位置に表示されます。



▶ 図25: FMチャープの圧縮パルス測定では、パルスの開始部分の非直線性がわかります。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用したレーダ・パルス測定

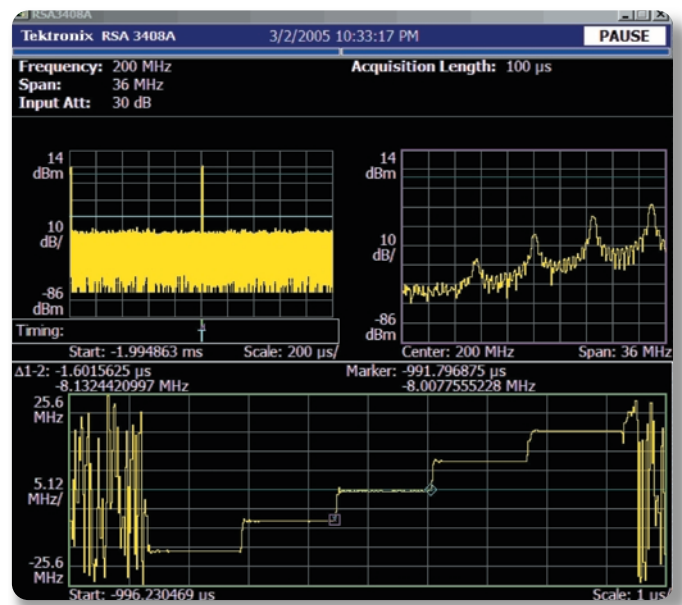
▶ アプリケーション・ノート

同様に、RTSAはパルス内のステップ状の周波数変化を解析することができます。FM復調モードを選択すると、パルス内の周波数ホッピングしたステップがはっきりと表示されます。わずかな量のリングングであっても、フェーズ・ロック・ループの次の周波数への遷移として見るすることができます。このように詳細に表示されることで、パルス発生回路の評価が簡単になります。

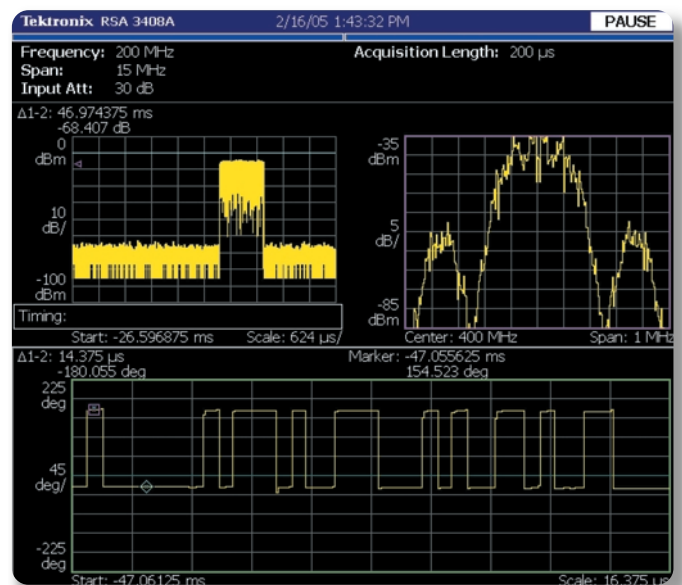
RSA3408A型は、位相変調された圧縮レーダ・パルスも解析することができます。ここでは、アナログ復調モードの位相復調機能を使用します。複雑なスペクトラムでは、周波数マスク・トリガを使用してパルスを捕らえ記録します。一度記録されると復調機能によって位相対時間が表示され、位相遷移が観測できます。これは、デジタル2値位相変調によってオーバーラップ・パルスを分離して、距離の曖昧さを排除するといった今日のレーダ・システムでは非常に重要です。

数多くの高度なパルス圧縮手法がありますが、RTSAはエンジニアが必要とする基本的な測定に柔軟に対応します。複雑なレーダ信号に対しては、パルス測定機能と時間相関が取れたマルチドメイン解析により、研究室、製造テスト現場でも、評価とトラブルシューティングが容易に行えます。

RTSAはまた、ソフトウェア・レーダ・システムに携わるエンジニアにも、独自の利点を提供することができます。



▶ 図26：5つの周波数ホッピングしたレーダ・パルスを測定した例。マーカーから、ホッピング間隔は1 μsと読めます。



▶ 図27：2位相変調圧縮パルスで180°の位相遷移を観測した例

最新のレーダ研究と開発

今日の多くのレーダでは、ある程度のデジタル信号処理を採用しています。アナログ・コンポーネントとデジタル信号処理の両方を使用しているシステムでは、ソフトウェアとハードウェアのインテグレーションにおいてよく問題がおこります。洗練されたソフトウェア開発ツールがあっても、このソフトウェアとハードウェアがミックスされたシステム上で実行されるデジタル信号処理を同時にデバッグすることは困難です。正しく機能することがわかっているRFハードウェアでソフトウェアをテストすることができないと、問題がハードウェアに関係したものか、ソフトウェアに関係したものかがわかりません。AWG710B型とRSA3408A型は、この問題に対して独自のソリューションを提供します。

AWG710B型は複雑なレーダ信号を出力することができ、正常な低電力パルス・ソースとして機能します。また、これらの信号を、最新のレーダのアップ・コンバータやパワー・アンプを駆動するためのレーダのIF信号として出力することもできます。同様に、RTSAでは解析用I-Qデータを取り出せる高性能受信機、デジタイザとして機能します。ソフトウェアは、この仮想システム上で、問題がハードウェアに関係したものかを確認する必要なく検証できます。

取り込まれたI-Qデータは、RSA3408A型のLANポートから、またはリアルタイムI-Qデータをオプションのハードウェア経由でアナログ・デジタル変換器（ADC）から出力することができます。いずれの方法でも、詳細な解析やアルゴリズム開発のために、ソフトウェア復調器にデータをエクスポートすることができます。

もちろん、複雑なデジタル・レーダのコンセプトを高価なハードウェアの開発をせずにテストすることも可能です。AWG710B型任意波形ゼネレータ、RSA3408A型およびコンピュータを使用すれば、ソフトウェアを開発するだけで実験的なレーダ・システムを製作することができます。RFハードウェアの検証が省略でき、ソフトウェアの製作だけに集中できますので、開発時間が短縮できます。

同様に、RSA3408A型は、パッシブ・バイスタティック・レーダのフロント・エンドとして機能します。RSA3408A型を使用することで、特殊なRFハードウェアの開発に貴重な時間をかけることなく、直ちに難しいコンピュータの問題に集中することができます。

AWG710B型やRSA3408A型にはリムーバブル・ハード・ディスクが装備されていますので、厳しい情報機密保護が要求される環境での、データのセキュリティを確保できます。

まとめ

複雑なレーダ信号の特性評価には、複雑なテスト・セットアップが必要でした。また最新のパルス圧縮技術によるレーダ・パルスの、取り込みや正確な解析がむずかしくなっています。リアルタイム・スペクトラム・アナライザは、このようなトランジェントRF信号に適しています。

RTSAの周波数マスク・トリガは、複雑なEWアプリケーションにおけるレーダ・パルスでさえも、確実に捕捉することができます。オーバーラップFFT、スペクトログラムのズーム機能などにより、レーダ・パルスを詳細に表示することができます。

パルス測定機能では、レーダ・エンジニア、ELINTエンジニアのためのパルス特性評価を自動的に実行することができます。一般的なパルス測定を自動的に実行し、時間的に相関のとれたマルチドメイン表示にシームレスに表示します。自動測定によりセットアップに要する時間が短縮でき、マルチドメイン表示により診断機能が強化され、信頼性の高い測定結果によりレーダ・システムのトラブルシューティングを迅速に実行できます。

簡単なパルス幅測定から複雑な周波数ホッピング・パルスの復調まで、RTSAは新しいレベルのテスト／測定機能が提供でき、従来からあるアナライザと置き換えることができます。迅速な自動パルス測定により、製品開発、製造、フィールド・メンテナンスが効率よく行えます。同様に、RSA3408A型のリアルタイム・デジタルI-Q信号出力機能は、デジタル・レーダ研究、コンセプト・アプリケーションの確認に最適です。さらに、RSA3408A型はポータブル・テスト機器ですので、車載またはリモート・サイトでのレーダのトラブルシューティングにも真価を発揮します。

Tektronix お問い合わせ先:

東南アジア諸国/オーストラリア (65) 6356 3900
オーストラリア +41 52 675 3777
バルカン半島/イスラエル/アフリカ南部諸国およびISE諸国 +41 52
675 3777
ベルギー 07 81 60166
ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360
カナダ 1 (800) 661-5625
中東ヨーロッパ/ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランスおよび北アフリカ +33 (0) 1 69 86 81 81
ドイツ +49 (221) 94 77 400
香港 (852) 2585-6688
インド (91) 80-22275577
イタリア +39 (02) 25086 1
日本 81 (3) 6714-3010
ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400
メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 56666-333
中東アジア/北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 090 02 021797
ノルウェー 800 16098
中華人民共和国 86 (10) 6235 1230
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
大韓民国 82 (2) 528-5299
ロシアおよびCIS諸国 7 095 775 1064
南アフリカ +27 11 254 8360
スペイン (+34) 901 988 054
スウェーデン 020 08 80371
スイス +41 52 675 3777
台湾 886 (2) 2722-9622
イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400
アメリカ 1 (800) 426-2200
その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111

Updated 5 January 2006

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。



Copyright © 2005, Tektronix. All rights reserved. Tektronix製品は、米国およびその他の国の取得済みおよび出願中の特許により保護されています。本書は過去に公開されたすべての文書に優先します。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。TEKTRONIXおよびTEKはTektronix, Inc.の登録商標です。その他本書に記載されている商品名は、各社のサービスマーク、商標または登録商標です。

10/05 FLG/WOW

37Z-19190-0

24 www.tektronix.co.jp/tdsvnm

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 FAX 0120-046-011

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

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com