



## パルス信号測定の課題に対する取組み

### アプリケーション・ノート 1MA124\_0J

このアプリケーション・ノートでは、パルス信号によるレーダ・システムで使用されるデバイスの特性の解析について説明します。特に、ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA)、シグナル・ジェネレータ、ベクトル・シグナル・ジェネレータ、およびスペクトラム・アナライザによる測定を中心に説明します。



2008年1月 - 本書の内容は変更されることがあります。

Thilo Bednorz, Roland Minihold, Kay-Uwe Sander, Frank-Werner Thummler

目次

1. 概要 .....	3
2. ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによる パルス信号デバイスの測定 .....	3
時間によって変化する動作の解析 .....	3
パルスの変調 .....	4
ポイント・イン・パルス測定 .....	5
パルス平均値測定 .....	7
パルス・プロファイル測定 .....	9
パルス・プロファイル測定技術の改善 .....	10
パルス測定と信号発生 .....	12
アナログ/ベクトル・シグナル・ジェネレータの比較 .....	12
表1 - シグナル・ジェネレータの比較 .....	13
試験システムの構成 .....	14
3. スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析 .....	15
パルス内部の変調 .....	16
パルス電力測定と検波器 .....	16
代表的な試験システム .....	18
4. 文献 .....	22
5. 補足情報 .....	22
6. Appendix: ローデ・シュワルツの航空宇宙/防衛関連製品 .....	23
シグナル・ジェネレータ：汎用性に優れた周波数範囲最大 43.5 GHz の性能 ...	23
R&S®SMB100A：次世代の“ミッドレンジ”シグナル・ジェネレータ .....	23
R&S®SMF100A：防衛関連の用途に対応して構成された機能 .....	24
R&S®SMA100A：ATE とアビオニクス・レーサの試験に最適 .....	25
シグナル/スペクトラム・アナライザ：厳しい信号環境に対応する仕様 .....	26
R&S®FSU67：外部ミキサを使用することなく周波数範囲 20 Hz ~ 67 GHz を実現	26
R&S®FSQ40：1つの計測器にベクトル信号解析とスペクトル解析を統合 ...	27
ベクトル・ネットワーク・アナライザ：業界最高水準の性能 .....	28
R&S®ZVT8：最大8つのポートを装備した業界初でただ1つのVNA .....	28
R&S®ZVAシリーズ：抜群の測定速度と測定精度 .....	29

### 1. 概要

レーダ・システムでは、ほとんどの場合パルス信号が使用されており、一連の特別な測定が必要とされ、それらの信号の発生や解析は簡単でない場合が少なくありません。しかし、信号発生からネットワークとスペクトルの解析までそれぞれに対応した技術があり、適切に応用すればパルス信号を使用するデバイスの解析が容易になり、再現性や精度を上げることができます。このアプリケーション・ノートでは、ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA)、シグナル・ジェネレータ、ベクトル・シグナル・ジェネレータ、およびスペクトラム・アナライザによる測定を中心に、これらの測定の概要を説明します。本書の目的は、測定と機器の両方に対する基礎知識を提供し、設計者に有効に使用していただくことです。

このアプリケーション・ノートは、以前に R&S North America のウェブサイト <http://test-rsa.com/milaero/index.shtml> で白書として公表され、一部が Microwave Journal 2007 年 9 月号に掲載されました。

### 2. ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

デバイスは、多くの場合、RF パルス信号またはパルス制御電圧のどちらかで信号を発生させることによって、CW 信号ではなくパルス信号を使用して解析しなければなりません。たとえばパワー・アンプのオンウェハ測定では、ヒート・シンクを実装することは難しかったり、不可能でさえあったりします。このような場合にはパルス信号を使用することによって、デバイスを破壊する可能性のあるパワー・レベルを超えることなく、本来の目的で使用したときにデバイスに発生しやすいパワー・レベルで S パラメータを測定することができます。適切なデューティ・サイクルを使用することによって、高いピーク・パワーを保ちながら、平均パワーを大幅に下げることができます。さらに、レーダ・システムで使用するために設計されたコンポーネントは、パルス信号が存在する状態でなければ必要な動作は示しません。

#### 時間によって変化する動作の解析

いくつかの種類のパルスが使用されていますが、もっとも一般的なパルスは図 1 に示されているようなシングル・パルスの RF 信号です。周期的なシングル・パルスを使用し、適切なデューティ・サイクルを選択することによって、ピーク・パワーを保ちながら平均パワーを下げることができます。その結果、被測定物の平均パワーを許容値まで下げ、熱によって破壊されるのを防ぐことができます。

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによる パルス信号デバイスの測定

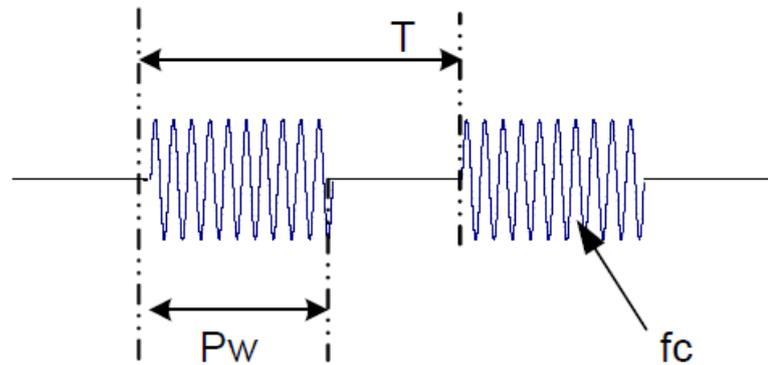


図1 シングル・パルス

ダブル・パルスは、気象レーダ、ターゲット・トラッキング・レーダ、および天文分野のドップラ・レーダを含め、各種のレーダ・システムに使用されます。ダブル・パルスはダブル・エコーを発生し、効率的に信号処理を行い、ほとんどの雑音やその他の妨害波を排除し、高い測定確度を確保します。レーダ・システムではシングル・パルスやダブル・パルスではなくパルス列(図2)が使用され、パルス列は周期パルスや非周期パルスなど各種のパルスを組み合わせて形成され、各パルスは変調させることができます。

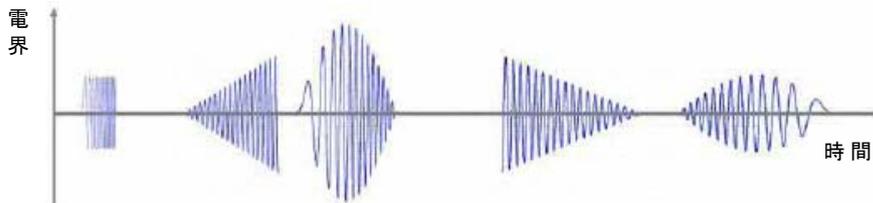


図2 代表的なパルス列

### パルスの変調

パルス信号の変調には基本的に3つの種類があります。チャープ・パルスは基本的に時間によって周波数を変える周波数変調された信号で、鳥の鳴き声に似ており、チャープ・パルスと呼ばれています。(図3)チャープ・パルスは、直線的または非直線的に変化させることができ、たとえばガウシアンのようなそれぞれ特定の形状を持たせることができます。

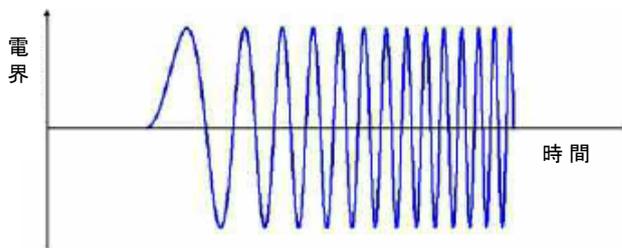


図3 時間によって周波数が増加するパルス (チャープ・パルス)

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

バーカ・パルス (図4) はバイナリ・フェーズ・シフト・キーイング (Binary Phase Shift Keying, BPSK) 変調で、ビット値が1の場合には位相が $\pi$ に設定され、0のビットの場合には位相は0のままです。コンスタレーション・ポイントを回転させるときには、位相オフセットを追加して指定することができます。この信号処理技術は、パルス圧縮 (固有の変調が適用されたパルス) に使用されます。アナログのチャープ信号とは異なり、パルスはデジタル変調されます。通常、高距離分解能の場合にはショート・パルスが使用され、信号対雑音比が低下します。この問題を解決するために、パルス圧縮が使用され、パルス幅が広げられ、信号対雑音比が改善されます。

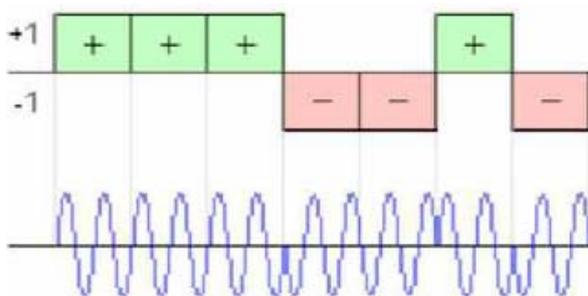


図4 7ビットのバーカ・コード

### ポイント・イン・パルス測定

ポイント・イン・パルス測定によって、Sパラメータやパワーを正確に測定することや、パルス内でデータ収集を行う瞬間を簡単に移動したり、デューティ・サイクルとダイナミック・レンジの関係を排除したりすることができます。ただし、そのためには測定帯域幅の広いVNAが必要です。ポイント・イン・パルス測定技術を使用すると、パルスはRFバースト“オン”時にだけチェックされるため、波形測定値やSパラメータの生データを得るためのサンプリング時間  $T_{spl}$  は、パルス幅  $t_{on}$  より短くなければなりません。(図5)

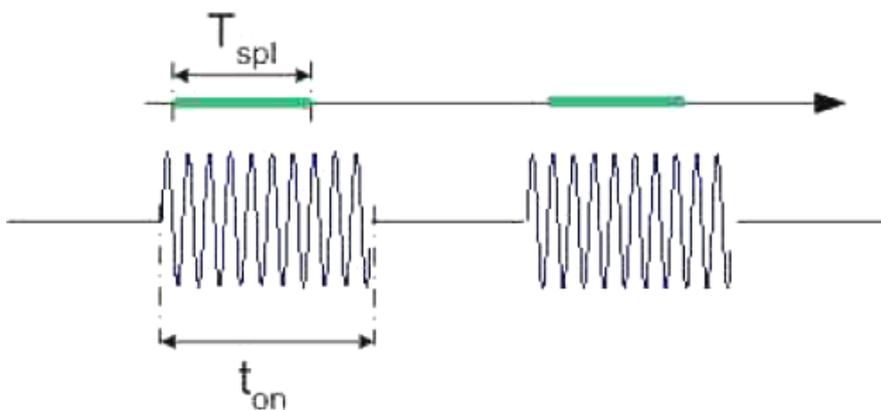


図5 ポイント・イン・パルス測定のサンプリング時間

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによる パルス信号デバイスの測定

---

サンプリング時間は主としてレシーバの測定帯域幅によって決まり、最小サンプリング時間と測定帯域幅は  $T_{spl} \approx 1/IFBw$  として定義されます。したがって、測定帯域幅を広げれば、サンプリング時間は短くなり、より短いパルスを解析することができます。VNA では IF フィルタがデジタル処理されており、通常、最大 600 kHz の測定帯域幅が使用でき、サンプリング時間は 1  $\mu$ s 以上です。ネットワーク・アナライザの中には、たとえば R&S ZVx シリーズなど、5 MHz 以上の IF 帯域幅を持つものがあり、5 MHz の帯域幅の場合にサンプリング時間を 400 ns に高速化することができます。サンプリング・プロセスはパルス・オン時にだけ発生させる必要があります、VNA のデータ収集とパルス・オンの周期との同期を取るために、RF パルスと同期するトリガ信号が必要です。VNA は“ポイント・トリガ・モード”で使用されるため、どの測定ポイントのデータ・サンプリングもトリガ・イベント検出後に開始されます。

アンプなどのアクティブ・デバイスではしばしば、パルスの最初にセトリングや立上りの影響が示されますが、設計者が通常必要とするのはデバイスがセトリングしたあとの動作です。適切なトリガ遅延を選択することによって、サンプリング・プロセスの開始時点のアンプのパルスが最高値に安定した位置に移動することができます。ポイント・イン・パルス方式を使用するダイナミック・レンジと感度はレシーバの感度と測定帯域幅によって決まり、RF パルスのデューティ・サイクルとは関係ありません。したがって、ダイナミック・レンジはパルス幅によって決まり、その結果サンプリング時間と必要な測定帯域幅が決まります。アベレージ機能を使用し、測定帯域幅をそのままの状態に保持することによって、ダイナミック・レンジを広げることができます。たとえば IQ ドメインで 10 回アベレージングを行えば、ダイナミック・レンジは 10 倍広がります。

## パルス平均値測定

ポイント・イン・パルス測定には測定帯域幅の広い VNA が必要なため、パルス幅が小さい場合にはこの測定方法に適していない VNA は少なくありません。このような場合には、パルス平均値測定技術（狭帯域技術または高 PRF（パルス繰返し周波数）技術とも呼ばれています）をお勧めします。この測定の場合には、VNA の性能に対する要求はそれほど大きくありませんが、試験システムを適切に設定するために十分な知識が必要で、パルスと VNA のパラメータが重要です。パルス信号は、0 と 1 の間で変化する周期的で低周波の矩形波（LF 信号）を高周波の連続波（CW）信号で倍して出力されます。タイム・ドメインでの倍は、周波数ドメインにおける両信号のスペクトルの組合せです。（図 6）

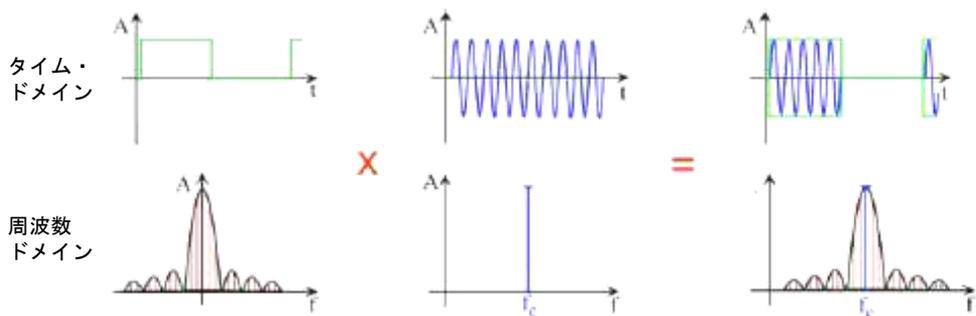


図 6 周波数ドメインとタイム・ドメインの信号

パルス・エンベロープのスペクトル（LF 信号）は周波数  $f_c$  への畳込みによって移動され、 $S_{21}$  と  $b_2/a_1$ （ $a_1$  はデバイスへの入射波、 $b_2$  はデバイスを通る伝送波）が等しいため、 $a_1$  の特定のスペクトル線 1 つと  $b_2$  の等価のスペクトル線との間の比率を測定することができます。言い換えると、すべての S パラメータを測定することができます。ダイナミック・レンジを最大にするために、次のように、 $f_c$  でもっとも強いスペクトル線（すなわち主搬送波）が選択されます。

$$S_{21} = b_2(f_c)/a_1(f_c)$$

$$S_{11} = b_1(f_c)/a_1(f_c) \text{ など}$$

パルス平均値測定の場合には、主搬送波だけが測定されるように帯域幅を十分狭くしておかなければなりません。搬送波間の周波数間隔は、パルス繰返し周波数と同じです。（ $PRF = 1/T$ ）

トレースの雑音を確実に低く抑えるためには、隣接する搬送波が 40 dB 以上抑圧されていることが重要で、したがって、通常、パルス繰返し周波数に対応する搬送波間隔のおよそ 1/10 の幅の測定帯域幅が選択されます。測定帯域幅を狭くすれば、測定時間は長くなります。VNA は複数のパルスについてサンプリングを行い、パルスの平均値を測定するため、パルス平均値測定と呼ばれています。主搬送波だけが検波されます。主搬送波は周波数 0 での LF 信号の畳込み搬送波で、LF パルスの“DC 値”を表し、実際には LF 信号のちょうど平均値です。

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

この種類の測定で代表的な問題は、VNA のデジタル IF フィルタの形状です。通常、VNA はデバイスに CW 信号を発生させ、IF フィルタはすばやくセトリングするように設計されていますが、サイドローブの高抑圧機能は考慮されておらず、通常は 20 dB 以下です。そのため、隣接するトーンの 1 つがサイドスローブの最大値になると、問題が発生する可能性があります。この問題を解決するために、2 種類の方法を使用することができます。計測器の中には“スペクトルのヌル処理（無効化）”（**図 7**）を使用しているものがあり、パルスの周期に従って、抑圧すべきトーンの発生が予想される位置に正確にフィルタのヌル値が対応するように IF フィルタを選択することができます。また、“ハイエンド”の VNA では、サイドローブのない非常に優れた選択度のフィルタを使用し、スペクトルをヌル処理する必要のないものもあります。（**図 8**）

### 青色のトレース

スペクトル  $T_p = 218.58 \mu\text{s}$

→ トーン間隔 4.545 kHz

### 赤色のトレース

オフセット 4.545 kHz の位置にヌル値を含む 3 kHz の IF フィルタの形状

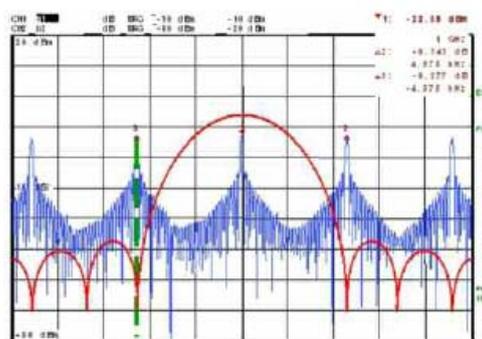


図 7 スペクトルのヌル処理の例

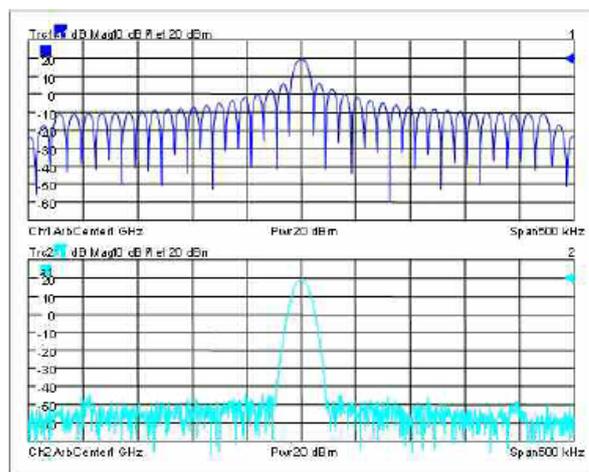


図 8 VNA のデジタル IF フィルタと“ハイエンド VNA”の非常に選択度に優れた IF フィルタ

パルス平均値測定は掃引モードでも行うことができます。試験システムはポイント・イン・パルス測定の場合と同じですが、トリガする必要はありません。パルス平均値測定技術では波形測定値の平均値が求められるため、絶対パワー測定にはデューティ・サイクルの影響があります。デューティ・サイクルが 1% の場合、主搬送波のパワー測定値はピーク・パワーより 40 dB 低くなります。この現象はパルス感度抑圧と呼ばれています。デューティ・サイクルが非常に低い場合には、信号対雑音比が非常に低くなり、測定のダイナミック・レンジが制限されます。

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

要約すると、パルス平均値測定技術は非常に短いパルスに使用することができ、特別な帯域幅や特殊なトリガ機能は必要としません。しかし、パルス平均値測定の場合にはポイント・イン・パルス測定とは異なり周期的なパルス信号が必要であり、測定結果は、パルスの始めに発生する可能性がある立上りやオーバershootを含め、平均値を表しているだけです。

VNA には主搬送波を除き他の信号を抑圧する機能も必要であり、そのためには、パルスの繰返し周波数に従って、サイドローブのない IF フィルタを使用するか、または IF フィルタの形状を適切に選択しなければなりません。デューティ・サイクルを 1/10 に短縮するとダイナミック・レンジは 20 dB 下がるため、デューティ・サイクルが短い場合に測定結果の精度が下がる可能性があります。これらの場合には、ポイント・イン・パルス測定をお勧めします。

### パルス・プロファイル測定

バースト時に時間によって変わるデバイスの動作を解析するためには、VNA は“パルス・プロファイル”測定を行わなければなりません。時間によって変わる動作の特性の解析に必要とされる代表的なパラメータは、立上り時間、オーバershoot、およびドループ（立下り特性）です。図 9 には、代表的なパルス波形が示されています。この測定を行うためには、VNA にパルス幅よりかなり高い時間分解能が必要です。周波数ドメインまたはタイム・ドメイン・モードでの測定の VNA の代表的な時間分解能は 3 ~ 20  $\mu\text{s}$  で、十分な時間分解能で時間に対する動作を解析するにはあまり優れているとは言えません。ほとんどの VNA の測定帯域幅は 600 kHz 以下で、1  $\mu\text{s}$  以下のパルス幅の高時間分解能に対応できない原因です。

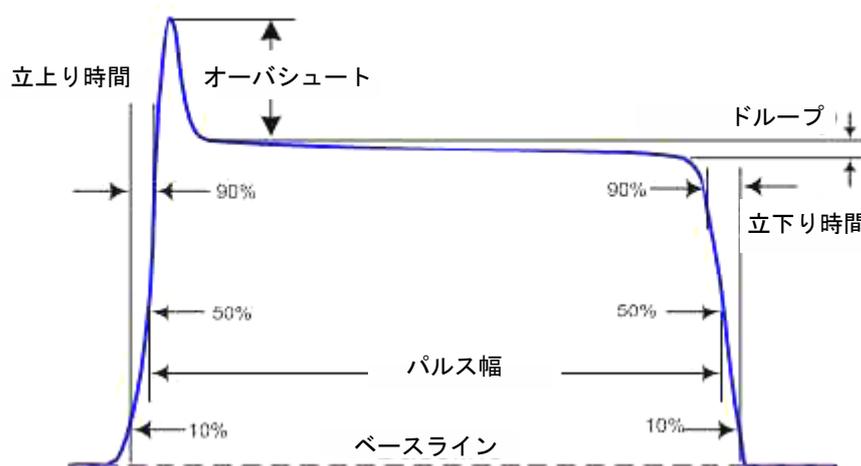


図 9 各種の特性が識別されたパルス波形

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

1 $\mu$ s より精度の高い分解能を達成するためには、外部のハードウェアとソフトウェアを追加して使用し、パルス内のさまざまなタイミング・ポジションでパルス信号をスライスに“さい断”することができます。(図 10) これらのパルス・スライスの値がそれぞれの遅延に対応して測定され、パルス平均値測定法に従って計算されます。パルスの必要な部分が解析されるまで、遅延が追加され、次の“スライス”が測定されます。このチョップ・モードは、RF 周波数時のレシーバ・パスまたは IF パス中の計測器内部のどちらかで使用することができます。IF がさい断されると、必要な外部スイッチによってこうむる損失を最小限に抑えることができます。

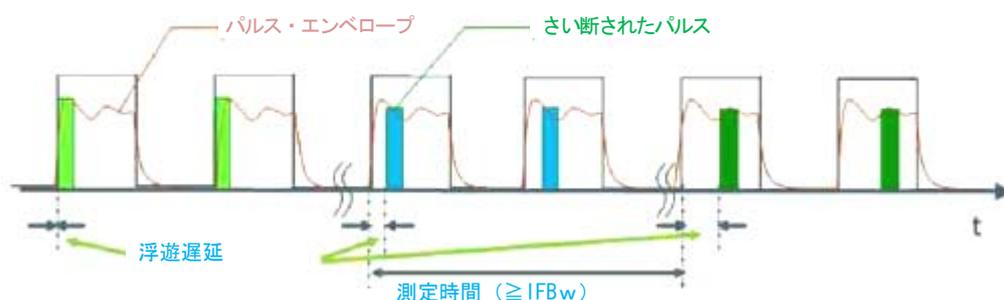


図 10 パルス時分割の例

パルス・プロファイル測定法は、パルス・プロファイル測定用の外部システムとあわせて使用すれば、ほとんどの VNA で実行することができます。この測定の不都合な点は、非周期パルス、ダブル・パルス、パルス列、または変調された複素パルス信号の解析ができないこと、および低デューティ・サイクルで高分解能の場合にはダイナミック・レンジが狭くなること、測定速度が遅いこと、そしてデューティ・サイクルが変わると再校正が必要になることです。

### パルス・プロファイル測定技術の改善

ローデ・シュワルツで開発された新しい技術では、パルス・プロファイル測定を大幅に改善する広帯域検波機能と高速データ記録機能が採用されています。パルス信号またはパルス信号を含む S パラメータのパルス・プロファイル解析は、A/D コンバータのサンプリング速度、2つのデータ・ポイント間の処理時間、および使用可能な帯域幅によって制限されます。サンプリング速度と2つのデータ・ポイント間のデータ処理時間によって時間分解能が制限され、測定帯域幅によって解析可能なパルスの立上り時間と立下り時間の最小値が決まります。

帯域幅を制限する要因は、レシーバのアナログ帯域幅とデジタル・フィルタリング用のデジタル・シグナル・プロセッサ (DSP) の能力です。ハイエンドの VNA には 15 MHz のアナログ帯域幅 (30 MHz の場合は多少性能が低下) がありますが、DSP の IF フィルタが適切に動作するのは、通常の CW または 5 MHz の帯域幅での時間掃引の場合だけです。VNA は、ダウンコンバートされた IF 信号を 80 MHz のサンプリング速度でサンプリングするため、時間分解能は 12.5 ns です。サンプリング時間に加え、2つの測定ポイント間にはデータ処理時間があり、タイム・ドメインで高分解能の測定を行う場合の重大な障害になっています。限界は、DSP による IF フィルタリング、時間分解能を 1.5  $\mu$ s に制限するデータ処理時間、およびサンプリング時間です。

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

しかし、パルス・プロファイル測定の分解能は、生データをサンプリングし、フィルタリングしないで直接保存することによって大幅に改善することができます。データを記録したあとで、DSP に代わり計測器のソフトウェアがデジタル・ダウンコンバートとデジタル・フィルタリングを行います。A/D コンバータはそのまま 80 MHz のサンプリング速度でデータのデジタル化を続け、高速 RAM に書き込みます。その結果、**図 11** に示されているように、個々の測定ポイントのサンプル間に絶対に遅延が発生しません。サンプリング速度が速いため、12.5 ns ごとに測定ポイントが出力され、したがって時間分解能は 12.5 ns です。通常はパルスの立上りエッジから計算されるトリガ信号によって、時間のゼロ・ポイントが決まります。したがって、トリガ検波と RF 入力パルスとの間の正確な時間関係も測定することができます。この関係は、周波数やレベルに対するポイント・イン・パルス測定時の正確なトリガ遅延を求めるときに特に重要です。

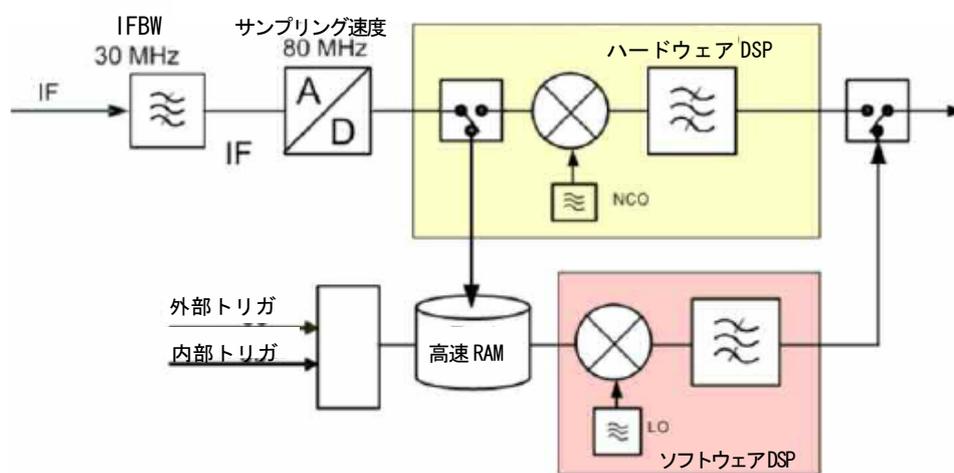


図 11 高性能パルス・プロファイル技術の改善で採用された高速データ記録機能

このあと、VNA はきわめて高速なパルス測定を実行することができ、1001 のテスト・ポイントの位置で 10/秒を超える掃引によって、パルス・プロファイル測定中にデバイスを簡単に調整することができます。この新しい技術では、周期的なシングル・パルス信号のほかに、ダブル・パルスやユーザ定義のパルス列も測定することができます。たとえばチャープなど、周波数変調や振幅変調されたパルスを含む信号を発生させるデバイスも解析することができます。

新しい技術はパルス幅の指定に群遅延のあるデバイスの S パラメータの測定にも有効で、かつてはこのような測定は困難であり、不可能ですらありました。発生させた RF 信号は、VNA がデバイスの出力から伝送された RF 信号を受け取るころにはもう、デバイスの入力には存在していない可能性があります。正確な S21 パラメータは、一時的に信号が重なる場合にしか測定することはできません。VNA の新しい技術を使用すれば、波形測定値に時間オフセットを加えることによってこの問題を解決することができます。S パラメータの計算の前に、デバイスの群遅延分だけ数理的に波形測定値が移動されます。測定の方角に従って各波形測定値にそれぞれの遅延時間を指定することができるため、VNA によってパルス幅全体に対するゲイン (S21) が正確に表示されます。

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによるパルス信号デバイスの測定

---

### パルス測定と信号発生

ほとんどの VNA では十分なレベルで内蔵のジェネレータを変調することができないため、特にパルスの条件が非常に複雑な場合には、外部変調信号源を使用する方が有効です。ほとんどの場合、パルスの範囲は 1  $\mu$ s 未満から数百  $\mu$ s 秒で、各種の変調方式でデータが搬送されます。スペクトル帯域幅に制限があると、専用のパルス・シェーピング機能が必要とされたり、高いオン/オフ比が要求されたりすることも稀ではありません。

これらのパルス信号を発生させるのはそれほど簡単なことではなく、また、アナログのマイクロ波信号源から出力される単純な CW パルスでは、試験に必要な条件を十分満たすことができないこともあります。デジタル変調されたデータ内容を含む任意パルスを発生させるときには、通常、最近の強力なベクトル・シグナル・ジェネレータが最適です。これらの計測器の任意波形モードでは、複雑で長いパルス列に十分なメモリときわめて優れた分解能が実現されています。ベクトル・シグナル・ジェネレータとベースバンド・ジェネレータの柔軟性の高いソフトウェアによって、通信や防衛関係の用途に使用される複雑なパターンのパルスを非常に単純化することができます。さらに、たとえば FFT など、事前に計算された結果を表示し、VNA によって実際に測定された値と直接比較することができます。

### アナログ/ベクトル・シグナル・ジェネレータの比較

アナログ・ジェネレータにはパルス変調器とパルス・ジェネレータが含まれています。パルス変調器は、矩形波を含むパルス・ジェネレータによって起動されます。パルス変調器は、基本的には RF 信号を起動したり停止したりする簡単なスイッチです。パルス変調器のもっとも大きな利点は、優れたオン/オフ比で ns の範囲の非常に短いパルスを出力することです。ただし、それぞれのパルスを整形したり、パルスを変調したりすることはできません。対照的に、パルスやユーザ定義のパルス列のそれぞれの変調に注目するときには、ベクトル・シグナル・ジェネレータを選択するしかありません。ベクトル・シグナル・ジェネレータは、内蔵の任意波形ジェネレータに保存されている事前に計算されたパルス波形を使用し、周期的にそれを出力します。その後、その波形は内蔵の IQ 変調器によって、必要な RF 周波数にアップコンバートされます。

このコンセプトでは、通常のパルス変調器やパルス・ジェネレータとは異なり、非常に柔軟にパルスの条件やパルス列をセットアップすることができます。ソフトウェアの場合には、ずっと簡単にパルスの条件をセットアップし、FFT、ベクトル基準面、またはタイム・プラン表示に対して、パルス・パラメータを設定し、コントロールすることができます。P13 の表 1 には、パルス測定を行うときの各種のシグナル・ジェネレータの長所と短所が比較してあります。

ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによる  
パルス信号デバイスの測定

表 1 - シグナル・ジェネレータの比較

ジェネレータの種類	長 所	短 所
パルス・ジェネレータとパルス変調器内蔵のアナログ・シグナル・ジェネレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●パルスのオン／オフ比が高いこと (&gt; 80 dB)</li> <li>●立上り時間と立下り時間が非常に短いこと (代表値 &lt; 5 ns)</li> <li>●パルス幅が非常に小さいこと (&gt; 20 dB)</li> <li>●マイクロ波の領域まで及ぶ周波数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●パルス・シェーピングに限界があること</li> <li>●変調されたパルスが出力できないこと (チャープ、バーカなど)</li> </ul>
ベクトル・シグナル・ジェネレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●パルス・シェーピング、変調が最適化されていること</li> <li>●任意のパルス列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●オン／オフ比が任意波形ジェネレータによって制限されること</li> <li>●任意波形ジェネレータのフルダイナミック・レンジは IQ 信号に対して 16 ビット。理論的なダイナミック・レンジは 96 dBc であるが、実際には約 -65 dBc に制限される。ただし、内部マーカ信号が計測器のパルス変調器を直接起動でき、ダイナミック・レンジを 80 dBc 以上に拡大</li> <li>●立上り／立下り時間とパルス幅が IQ 帯域幅によって制限されること</li> </ul>

## ベクトル・ネットワーク・アナライザとシグナル・ジェネレータによる パルス信号デバイスの測定

### 試験システムの構成

被測定物がパルス変調された入力信号を必要とする場合には、パルス変調機能のあるジェネレータまたは複素波形を含むベクトル・シグナル・ジェネレータを使用することができます。内蔵の無変調の VNA ジェネレータを使用する代わりに、ジェネレータの変調された RF 信号が直接 VNA のジェネレータ・パスに入力されます。(図 12) 変調された信号は、内部のカプラを通過するときにも基準レシーバによって測定されるため、システム・エラー修正は S11 と S21 の測定に適用することができます。したがって、CW モードで記録されたシステム・エラーやレベル校正はパルス信号モードでも適用され、デューティ・サイクルが変更された場合でも繰り返す必要はありません。VNA は LAN や IEEE-488 バスを経由して外部ジェネレータのパワーと周波数を制御するため、この試験システムは周波数とレベルに対するパルス測定にも適しています。

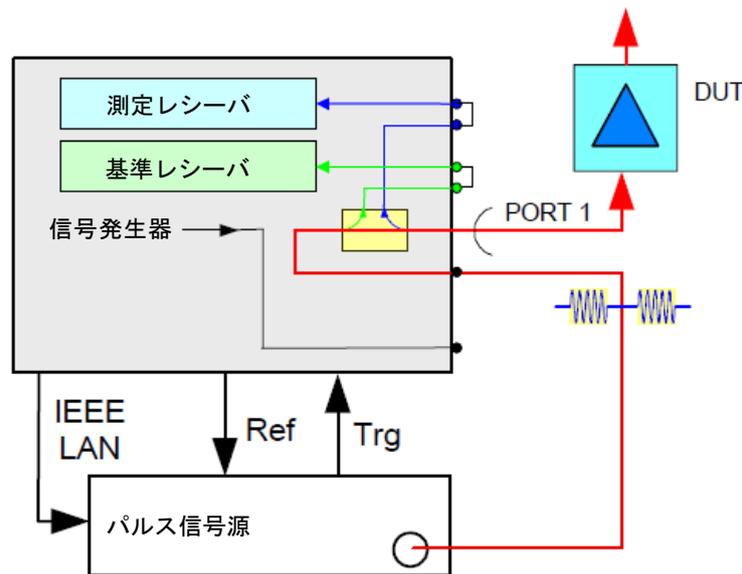


図 12 変調された信号源としてのテスト・シグナル・ジェネレータのセットアップ

単純な RF パルスによる測定ではジェネレータ・パスにパルス変調器を挿入し、双方向の測定や 2 ポート・キャリブレーションを行うことができます。ポート 1 のジェネレータ・パスに変調器を加えると、パルス信号の状態では順方向のパラメータ S11 と S21 が測定され、パルスに関係のない信号のモードで逆方向のパラメータ S12 と S22 が測定されます。パルス変調器を制御するためには、任意波形ジェネレータを 1 つだけ追加する必要があります。(図 13)

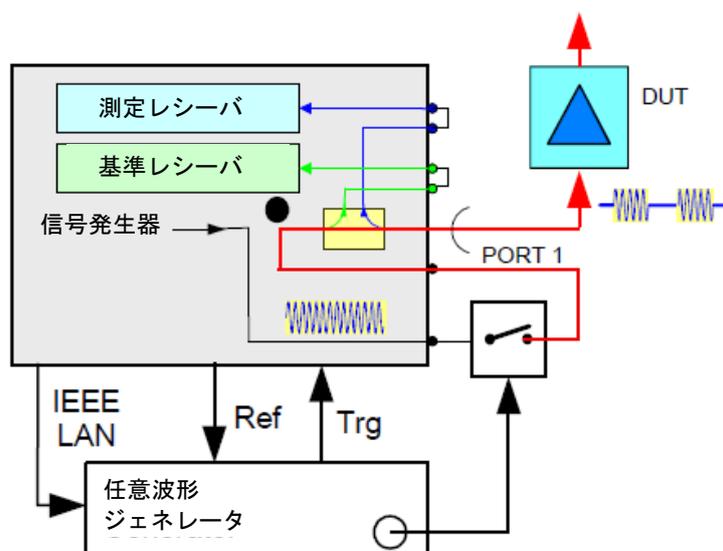


図 13 外部パルス変調器が組み込まれた代表的な試験システム

外部パルス・シグナル・ジェネレータまたは外部変調器のどちらが組み込まれた試験システムでも、デューティ・サイクルが変更された場合に再校正は必要ありません。CW モードで実行された校正は、パルス信号モードでも有効です。このシステムによって、S パラメータについても、絶対パワー・レベルについても、校正された正確な測定を行うことができます。

### 3. スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

レーダ・システムで使用されているパルス信号の特性を解析する場合には、VNA やシグナル・ジェネレータのほかに、スペクトラム・アナライザも非常に有効なツールです。測定という観点から考えると、パルス信号は幅や繰返し周波数が一定でなく、レーダ・モードによって異なるため、評価ははけて簡単ではありません。そのため、平均パワーからパルス信号のピーク・パワーを計算するためのツールとしては、RF パワー・メータはまったく使用することができません。さらに、パルス信号の特性を完全に解析するためには、ピーク・パワーと平均パワー、パルス波形、および立上り時間、立下り時間、パルス幅、パルス周期などのパルス・プロファイルを含め、たくさんのパラメータを測定しなければなりません。その他の測定には、搬送波周波数、占有スペクトル、搬送波のオン／オフ比、パルス繰返し周波数、および位相雑音があります。それらの特性を解析する場合には、スペクトラム・アナライザが圧倒的に優れています。測定結果は、パルス帯域幅と分解能帯域幅 (RBW) のパラメータに従って、次の 3 つの方法でスペクトラム・アナライザに表示することができます。

- RBW がスペクトル線の間隔より狭い場合には、RBW を変更してもレベル測定値は変わりません。
- 帯域幅がエンベロープの最初のヌルの間隔より狭い (1/パルス幅) 場合には、エンベロープ・スペクトルを表示することができます。
- 帯域幅がヌルの間隔より広い場合には、スペクトル全体が帯域幅内に入ってしまう、信号のスペクトルを表示することはできません。

## スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

さらに帯域幅が広がると、応答はパルスのタイム・ドメイン機能に近づきます。パルス・パラメータに従ってパルス感度抑圧係数を計算することもでき、スペクトラム・アナライザのパルス帯域幅内で測定されたレベルを低減します。この場合には、マーカの読み値に感度抑圧係数を加えた値がピーク・パワーです。RBW が変わるとレベル測定値も変わるため、パルス信号測定では RBW の値は非常に重要です。帯域幅がスペクトル線の間隔より大きい場合には、パルス感度抑圧係数はパルス・パラメータと RBW によって決まり、振幅測定値は帯域幅内のライン数とトータル信号帯域幅によって決まります。帯域幅の形状はフィルタ帯域幅内のパワーを表しているため、RBW の補正係数は計測器内部のフィルタの形状によって起動されます。RBW が広すぎると、線スペクトルまたはエンベロープ・スペクトルがタイム・ドメイン・スペクトルに変わり、RBW フィルタのインパルス応答が明らかになります。タイム・ドメインでスペクトラム・アナライザを使用すれば、パルス幅を直接測定することができます。ピーク・マーカによってピーク・パワーを測定し、デルタ・マーカによって、立上り時間、立下り時間、パルス繰返し間隔、およびオーバシュートなどのパラメータを測定することができます。RBW とビデオ帯域幅 (VBW) が広い場合には、パルスのインパルス応答を確認できるように、スペクトラム・アナライザが RF パルスのエンベロープを追跡調査することができます。RBW/VBW を最大にすると、スペクトラム・アナライザの小さなパルスを測定する機能が制限されるため、概して測定可能な最小パルスのパルス幅は  $2/\text{RBW}$  以上と長い間考えられています。

### パルス内部の変調

通常、レーダ・システムでは RF パルス内の変調が使用されます。レーダの範囲はパルス内で使用可能なパワーによって制限されるため、この変調のパワー特性を理解することは重要です。逆に、パルス長を長くすると、分解能が限定されます。変調形式は単純な周波数変調 (チャープ) から高度なデジタル変調にまで及ぶ可能性があり、最新のスペクトラム・アナライザであれば、これらの変調形式の特性を解析することができます。スペクトラム・アナライザは、パルス内の従来のアナログ変調 (振幅変調、周波数変調、および位相変調) を測定することや、同様に、RF パルス内のバーカ・コード BPSK 変調などの数多くのデジタル変調形式の復調に関わるその他の解析機能、およびパルス間の位相測定を行うことができます。

### パルス電力測定と検波器

出力パワーの試験はレーダのトランスミッタに対する重要な測定の 1 つで、数種類の測定を行うことができます。平均パワーは、通常、パワー・メータによる平均パワー測定として求められます。その他非常に重要な値はピーク・パワーで、パルス繰返し周波数 (Pulse Repetition Frequency, PRF) とパルス幅がわかれば、平均パワーの測定値を計算することができます。タイム・ドメインの信号の波形は、ラスタ・スクリーン CRT または LCD を使用してスペクトラム・アナライザに表示されます。これらのディスプレイでは、レベル軸、同様に周波数軸または時間軸の画素 (ピクセル) 数に限りがあります。その結果、レベルと周波数の両方または時間の分解能が制限されます。掃引時に測定されたデータをすべて表示するために、検波器を使用して、表示可能な画素数に合わせてデータ・サンプルが圧縮されます。

## スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

---

スペクトラム・アナライザにはピーク・パワーを測定するために、設定された測定間隔内で最大の電力ピークが表示できるピーク検波器があります。しかし、ピーク・パワーと信号のパワーは関係がないため、パルス変調のように振幅変調された信号の平均パワー測定には、スペクトラム・アナライザのピーク検波器は適切ではありません。ただし、これらの計測器には、サンプル検波器または RMS 検波器のどちらかが組み込まれています。

サンプル検波器は測定ポイントごとに 1 回ずつ包絡電圧を確認し、その結果を表示しますが、結果表示は画面の X 軸で使用可能な画素数に制限されるため、この方法では信号情報がまったく役に立たないことがあります。RMS 検波器の場合には、A/D コンバータのフル・サンプル・レートでエンベロープ信号をサンプリングし、実効値電力の計算に 1 ピクセルの範囲内にあるすべてのサンプルが使用されます。その結果 RMS 検波器では、サンプル検波器よりずっと多くの測定サンプルが表示されます。

RMS 検波器は、電力計算の数式をすべてのサンプルに適用することによって、ピクセルで表されたスペクトルのパワーを測定します。再現性を上げるために、掃引時間によってピクセルあたりのサンプル数をコントロールすることができます。掃引時間を長くすると、各ピクセルの電力積分の時間も長くなります。パルス信号の場合、再現性はピクセル内のパルスの数によって決まります。測定結果がなめらかで安定した RMS トレースで示されるようにするためには、1 つのピクセル内で複数のパルスを測定できるだけの十分な掃引時間を設定しなければなりません。RMS 検波器は、画面上にピクセル 1 つだけで直線的に表されたすべてのサンプルの実効値を計算します。

パルス変調された信号のピーク・パワーと平均パワーを正確に測定するためには、パルス波形に影響を与えないように、計測器の IF 帯域幅と A/D コンバータのサンプリング速度が十分でなければなりません。たとえば R&S®FSP のスペクトラム・アナライザで使用可能な 10 MHz の分解能帯域幅と 32 MHz のサンプリング速度の場合には、500 ns の小さいパルス幅のパルス変調された信号を高い確度で測定することができます。

### 代表的な試験システム

ここで説明されている測定例では、R&S®SMU シグナル・ジェネレータを使用して擬似レーダ信号が作成され、出力信号は振幅変調された RF 搬送波です。任意波形ジェネレータによって広帯域振幅変調が出力され、パルス幅 500 ns、パルス繰返し周波数 1 kHz の一連のパルスが作成されます。パルス・レベルは時間によって変更され、長期間平均パワー測定を行うためのアンテナの回転の影響がシミュレートされます。

ピーク・パワーを測定するためには、スペクトラム・アナライザの分解能帯域幅とビデオ帯域幅を、パルス幅内でセトリングできるだけの十分な広さに設定しなければなりません。この測定では、RBW と VBW は 10 MHz に設定されます。スペクトラム・アナライザはゼロ・スパンに設定され、時間によってパワーを表示します。掃引時間は、シングル・パルスが測定できるだけの値に設定されます。スペクトラム・アナライザは、ビデオ・トリガを使用してパルス波形の表示を静止させます。パルス幅が変更され、RBW フィルタのセトリング時間の影響を調査するために、100 ns、200 ns、および 500 ns のパルス幅で 3 つの測定値が波形で表示されます。図 14 には、代表的なピーク・パワー測定の結果が示されています。

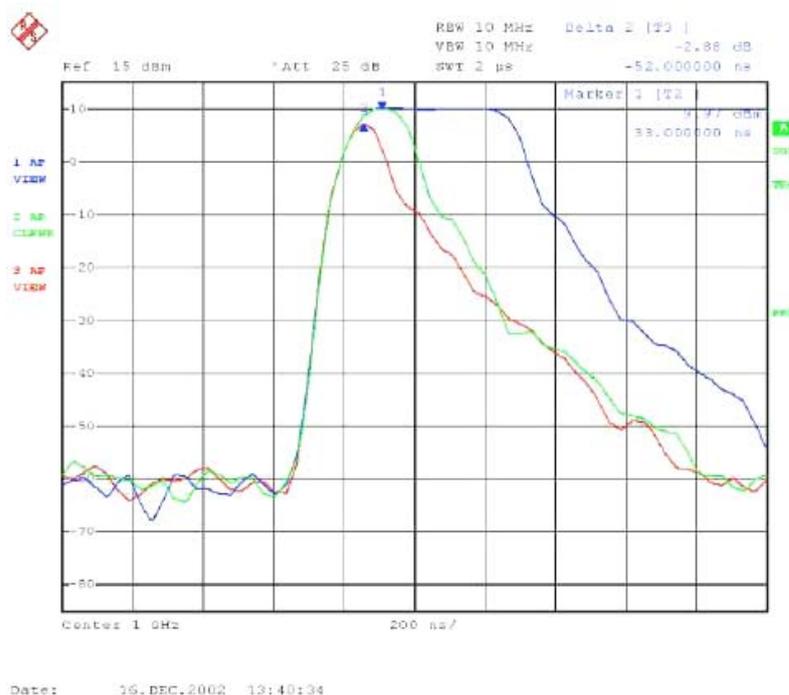


図 14 代表的なピーク・パワー測定。青色の点線のトレースは 500 ns のパルス幅で測定され、緑色の破線のトレースはセトリング時間の計算値と同じ 200 ns のパルス幅で測定され、赤色の実線のトレースは、RBW フィルタのセトリング時間より短い 100 ns のパルス幅で測定されています。

青色の点線のトレースは 500 ns のパルス幅で測定され、パルスの最上部でフラットな応答を示します。緑色の破線のトレースは、200 ns のパルス幅で測定されています。この値は、セトリング時間の計算値と同じです。この測定のピーク・レベルは、ちょうど 500 ns のパルスで測定された値に達します。マーカ 1 (T2) はピーク値に設定され、9.97 dBm を示しています。このパルス幅は、10 MHz の分解能帯域幅で正確に測定

## スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

できる最小値です。赤色の実線のトレースは、RBW フィルタのセトリング時間より短い 100 ns のパルス幅によって測定されています。この図では、“Delta 2 (T3)” と書いてあるデルタ・マーカがピーク値に設定され、公称パルス・レベルに対して約 3 dB の損失を示しています。

次のステップはパルス幅の測定です。パルス幅は、通常、信号レベルがパルス長全体の平均パワーの 50% のポイントとして定義されます。(図 15) このポイントは、スペクトラム・アナライザで通常使用されるログ・レベル・グリッドの中では、ピーク・レベルより 6 dB 下の位置にあります。パルス幅の測定では、マーカはパルスの立上りエッジ上の平均パルス電力より 6 dB 下の位置に設定され、デルタ・マーカは立下りエッジ上の平均パワーより 6 dB 下の位置に設定されます。

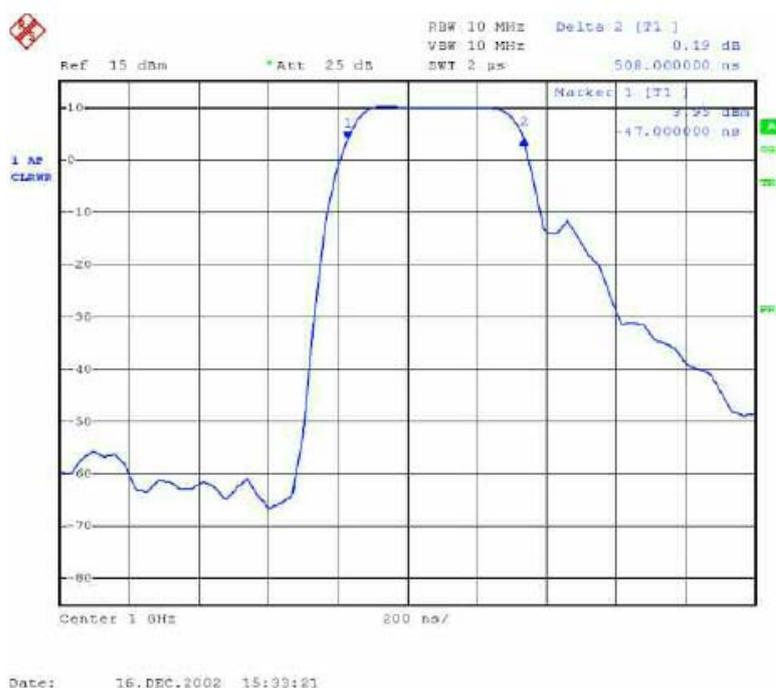


図 15 パルス幅は、通常、信号レベルがパルス長全体の平均電圧の 50% のポイントとして定義されます。

この場合のデルタ・マーカのレベルの読み値は 0 dB です。測定されるポイントの分解能に限界があるため、小さなレベル差は許容しなければなりません。この測定のデルタ・マーカ “Delta 2 (T1)” の読み値は、508 ns のパルス幅を示しています。この測定の確度は、実測定値が収集できるトレース内のポジションを定義する A/D コンバータのサンプリング速度の影響を受けます。これらのポイント間では、トレースに表示されるポイントを出力するためにトレース・データが補間されます。A/D コンバータのサンプリング速度は 32 MHz で、測定サンプルの間隔は 31.25 ns です。

レーダのトランスミッタの出力信号のパルス変調は広い帯域幅全体に広がっており、スペクトラム・アナライザ上で周知の  $\sin x/x$  スペクトルの形状として見ることはできません。個々のスペクトル線では、ピーク・パワーや平均パワーを直接計算することはできません。パルス幅や PRF などの変調パラメータがわからなければ、パワーを計算することはできません。チャンネル・パワー測定については、最近のほとんどのスペク

## スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

トラム・アナライザには、指定されたチャンネル内のパワーを計算するためのソフトウェア・ルーチンがあります。これらのルーチンでは、チャンネル帯域幅の周波数範囲内に表示されたトレース・ピクセルによって表されるパワーを積分し、パワーが計算されます。

平均パワー測定には RMS 検波器が必要です。レーダ信号を評価するときには、複数のサイドローブを積分することによって平均パワーを計算することができます。ほとんどのエネルギーが  $\sin x/x$  スペクトルのメインローブと隣接するサイドローブとに含まれているためです。信号のメインローブと複数のサイドローブを測定できるだけの十分な広さのチャンネル帯域幅を使用することによって、平均パワーを測定することができます。

図 16 は、チャンネル・パワーの測定結果を示しています。メインローブと両方の隣接サイドローブを測定するために、チャンネル帯域幅は 10 MHz の値に設定されています。

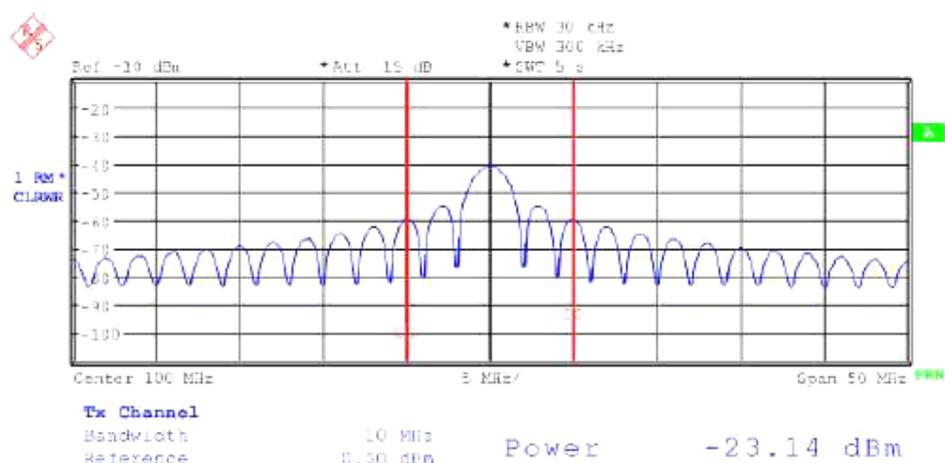


図 16 10 MHz のチャンネル帯域幅によるチャンネル・パワー測定

50 MHz のチャンネル帯域幅で同じ測定を行うと、両側でそれぞれ 10 を少し超えるサイドローブが測定されます。(図 17) 測定結果の -23.01 dBm のチャンネル・パワーは、パルス信号の平均パワーの計算値と一致します。10 MHz の測定の場合でも、ターゲット値とかなり一致します。この理由は、ほとんどのパワーがメインローブおよびいちばん近い隣接サイドローブに集中されるためです。この方法で平均パワーを測定する場合には、パルス変調パラメータに対する知識は必要ありませんし、パルス・パラメータが連続して変化するパルス信号にも使用することができます。

## スペクトラム・アナライザとパルス信号の解析

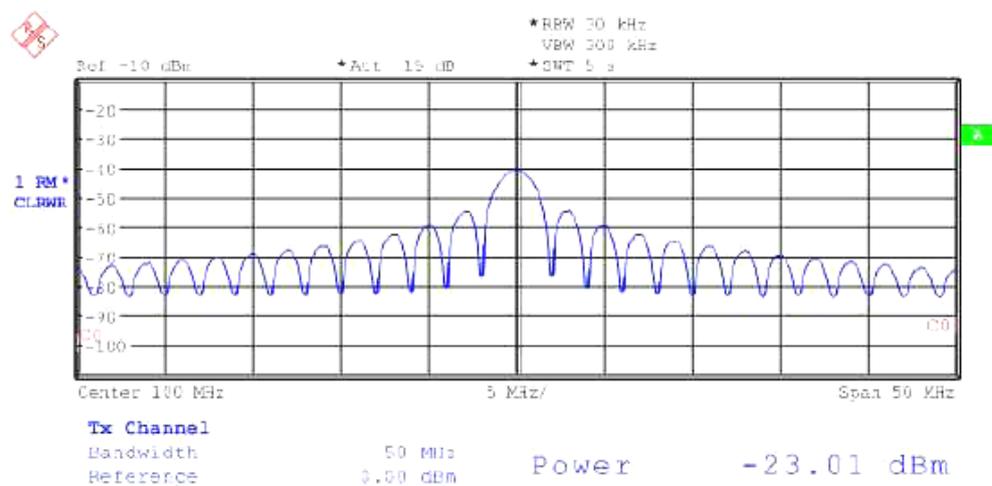


図 17 両側でそれぞれ 10 を超えるサイドローブが測定される 50 MHz のチャンネル帯域幅によるチャンネル帯域幅測定

### 4. 文献

- 1) アプリケーション・ノート 1EF48 : Power Measurement on Pulsed Signals with Spectrum Analyzers (スペクトラム・アナライザによるパルス信号の電力測定)  
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1EF48.html>
- 2) アプリケーション・ノート 1EZ52 : Antenna Measurements, RCS Measurements and Measurements on Pulsed Signals with Vector Network Analyzers R&S ZVM, R&S ZVK (ベクトル・ネットワーク・アナライザ R&S ZVM と R&S ZVK によるアンテナ測定、RCS 測定、およびパルス信号測定)  
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1EZ52.html>
- 3) アプリケーション・ノート 1MA32 : Noise Figure Measurements on Amplifiers in Pulsed Mode (パルス・モードのアンプに対する雑音指数測定)  
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA32.html>

### 5. 補足情報

このアプリケーション・ノートは頻繁に更新されます。新しいバージョンをダウンロードするためにはウェブサイト [1MA124](#) にアクセスしてください。このアプリケーション・ノートに対するご意見やご提案は [TM-Applications@rsd.rohde-schwarz.com](mailto:TM-Applications@rsd.rohde-schwarz.com) にお寄せください。

**6. Appendix : ローデ・シュワルツの航空宇宙／防衛関連製品**

**シグナル・ジェネレータ : 汎用性に優れた周波数範囲最大 43.5 GHz の性能**

**R&S®SMB100A : 次世代の“ミッドレンジ”シグナル・ジェネレータ**



- 周波数範囲 : 9 kHz ~ 1.1、2.2、3.2、または 6.0 GHz
- このクラスのシグナル・ジェネレータでは高い信号確度と最大の出力パワー
- 最大出力 : +18 dBm (オーバレンジ : +25 dBm)
- 周波数とレベルの設定時間 : < 3 ms (周波数)、< 2.5 ms (レベル)、リスト・モード時には 1 ms 未満
- 使用場所でユーザによる保守を可能にする 4 つのモジュールの簡潔な構成
- 最小パルス幅 20 ns のパルス・ジェネレータ (オプション)
- オン／オフ比 90 dB、立上り／立下り時間 10 ns のパルス変調器 (オプション)
- 動作温度範囲 0 °C ~ 55 °C、最大高度 4600 m で厳しい環境にも対応する耐久性
- わずか 11.6 ポンド (5.3 kg) の小型・軽量仕様

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/signal\\_generation/rf\\_analog/SMB100A.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/signal_generation/rf_analog/SMB100A.html)

**R&S®SMF100A : 防衛関係の用途に対応して構成された機能**



- 周波数範囲 : 1 GHz ~ 22 または 43.5 GHz
- 低い位相雑音と高調波とスプリアス信号に対する高い減衰量
- 周波数とレベルの高速設定時間
- RF 出力 : 最大 +16 dBm (オプションで最大 +25 dBm)
- シングル・パルスまたはダブル・パルスおよびパルス列を柔軟に出力
- オン／オフ比 > 80 dB、立上り／立下り時間 < 10 ns、および最小パルス幅 20 ns のパルス変調器 (オプション)
- セキュリティの確保および SMF100A 間でデータやテスト・ルーチンをやり取りするために、オペレーティング・システム、ファームウェア、およびデータが完全に取外し可能
- パルス測定は信号発生で始まり、ローデ・シュワルツのシグナル・ジェネレータが最高水準の性能を提供。各シグナル・ジェネレータはユーザそれぞれのニーズに合わせて構成され、すべてのシグナル・ジェネレータが航空宇宙／防衛分野の使用目的に最適

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/signal\\_generation/microwave/SMF100A.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/signal_generation/microwave/SMF100A.html)

**R&S®SMA100A : ATE とアビオニクス・レシーバの試験に最適**

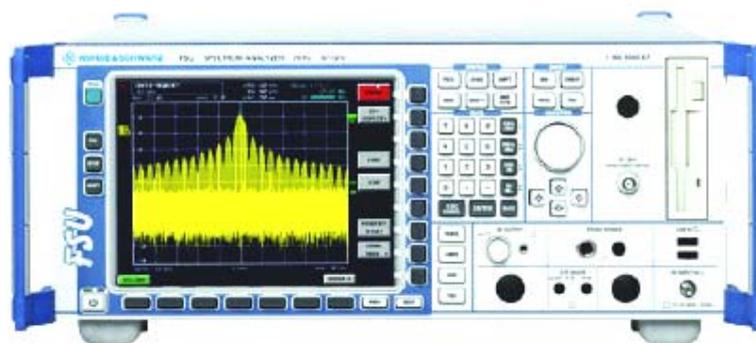


- 周波数範囲 : 9 kHz ~ 3 または 6 GHz
- 6GHz までの範囲の SSB (単側波帯) 位相雑音に高い性能 (1GHz、オフセット 20kHz の場合の代表値 -140 dBc/Hz)
- オプションの高性能パルス・ジェネレータと標準のパルス変調器によって、オン／オフ比 > 80 dB、立上り／立下り時間 20 ns、最小パルス幅 20 ns を実現
- 速い測定速度、優れた信号純度、および小型・軽量仕様は ATE (自動測定) システムとして最適
- SMA100A は ICAO 適合の VOR/ILS アビオニクス信号発生機能が実装可能で、変調誤差が小さくレベル確度が高いためアビオニクス・レシーバの試験に優れた製品

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/signal\\_generation/rf\\_analog/SMA100A.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/signal_generation/rf_analog/SMA100A.html)

**シグナル／スペクトラム・アナライザ : 厳しい信号環境に対応する仕様**

**R&S®FSU67 : 外部ミキサを使用することなく周波数範囲 20 Hz ~ 67 GHz を実現**



- 外部高調波ミキサを使用することなく、したがってミキサに特有の欠点を考慮することなく、広周波数範囲が測定できるただ1つのスペクトラム・アナライザ
- R&S®FSU67 本体制御の内蔵の RF アッテネータ (0~75 dB、ステップ幅 5 dB) によって、高調波ミキサ使用時に必要とされるマニュアル操作の外部アッテネータが不要
- 通常は高調波ミキサによって達成可能な値をはるかに超える基準レベル範囲 (-130 dBm ~ +30 dBm)
- レーダ・システム、防衛システム、無線ぼう受システム、および戦場での通信システムの評価に一際優れたアナライザ
- 測定可能数はマニュアル・モード時 80/秒、IEEE-488 バス経由のデータ転送を含めると 70/秒
- ノイズ・フロア : 1 GHz の場合は -158 dBm、65 GHz の場合は -130 dBm
- 分解能帯域幅 : 1 Hz ~ 50 MHz
- トータル測定誤差 : < 0.3 dB
- 周波数分解能 : 0.01 Hz
- 測定範囲全体にわたり低位相雑音
- センサを加えるだけで RF パワー・メータとして動作可能
- 充実した幅広い解析機能
- 多彩な検波器 : 10Hz ~ 50MHz の掃引、1Hz ~ 30kHz の FFT フィルタ、100Hz ~ 5 MHz のチャンネル・フィルタ、MIL-STD (MIL 規格) の試験に必要な 10 Hz、100 Hz、1 kHz、10 kHz、100 kHz、および 1 MHz のフィルタを含む 6-dB 帯域幅のフィルタ
- ローデ・シュワルツのスペクトラム・アナライザは、コンポーネントやサブシステムの性能の評価にも、適正さが疑われるエミッタの特性の解析にも対応する高性能の製品です。たとえば R&S®FSU67 は、外部高調波ミキサを使用することなく最大 67 GHz まで測定できる業界唯一のスペクトラム・アナライザで、1つのユニットにスペクトル解析とベクトル信号解析の両方の機能が統合されています。

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/spectrum\\_analysis/FSU67.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/spectrum_analysis/FSU67.html)

**R&S®FSQ40 : 1つの計測器にベクトル信号解析とスペクトル解析を統合**



- 周波数範囲 : 20 Hz ~ 3.6、8、26.5、および 40 GHz
- 高性能スペクトラム・アナライザの全機能と汎用性に優れた信号解析機能を結合
- 最大 50 MHz の分解能帯域幅の設定によって、ゼロ・スパン・モードでさらに詳細にパルス信号を解析
- ダイナミック・レンジ : 最大 170 dB
- 復調帯域幅 : 28 MHz、オプションで 120 MHz
- アナログ／デジタル・ベースバンド信号を柔軟に解析
- 外部高調波ミキサによって測定範囲を 110 GHz まで拡大 (オプション)
- 多様な変調形式を復調
- WiMAX、WLAN、WCDMA、LTE、CDMA2000、GSM/Edge などを含め、現在使用されているすべての汎用通信方式が使用可能

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/spectrum\\_analysis/FSQ.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/spectrum_analysis/FSQ.html)

**ベクトル・ネットワーク・アナライザ : 業界最高水準の性能**

**R&S®ZVT8 : 最大 8 つのポートを装備した業界初でただ 1 つの VNA**



- 周波数範囲 : 300 kHz ~ 8 GHz
- テスト・ポート数 : 最大 8 つ
- ダイナミック・レンジ : > 120 dB
- 出力パワー : 全ポート > 13 dBm
- パワー掃引範囲 : -40 dBm ~ 13 dBm
- 測定速度 : 全ポート 8 ms
- シンプル設定のマルチポート測定
- 無制限のチャンネル数とトレース数
- デバイスの全ポートを同時測定可能

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/network\\_analysis/ZVT8.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/network_analysis/ZVT8.html)

**R&S®ZVA シリーズ : 抜群の測定速度と測定確度**



- 最大測定周波数 : 8、24、40、または 50 GHz
- テスト・ポート数 : 最大 4 つ
- 業界最高水準の RF 信号処理能力
- 高速・高確度測定を可能にする広ダイナミック・レンジ
- 処理速度、確度、およびダイナミック・レンジを向上させるセグメント掃引
- 12.5 ns の時間分解能、最大 30 MHz の測定帯域幅によるパルス・プロファイル測定
- パルス幅最小 450 ns までのポイント・イン・パルス測定
- 最大 4 倍の高速化を実現するパラレル測定
- 真の差動測定用に位相に同期性のある 2 つの内蔵信号源
- データ転送と掃引を同時に実行
- 外部コンポーネントを高速制御

**パルス・プロファイル測定の世界標準**

R&S®ZVA と ZVT シリーズの VNA のオプション R&S®ZVA-K7 “パルス測定” では、広帯域検波と高速データ記録の機能を採用し、高分解能・高速度でパルス・プロファイル測定を行う際に VNA の機能を妨げる障害を軽減したり、排除したりしています。サンプリングされた生データはフィルタリングされずにそのまま保存され、そのあとすぐに、計測器のファームウェアによってデジタル低域変換され、フィルタリングされます。A/D コンバータは連続して 80MHz でのデータをデジタル化およびサンプリングし、高速 RAM に書き込みます。この技術によって、1001 のテスト・ポイントに対する掃引数は 10/秒を超え、市販されているあらゆる技術の中でもっとも速く、もっとも詳細で正確なパルス・プロファイリングが生まれました。

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/product\\_categories/network\\_analysis/top\\_class/ZVAold.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/product_categories/network_analysis/top_class/ZVAold.html)



本社/東京オフィス 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-11-18 711ビルディング  
Tel: 03-5925-1288/1287 Fax: 03-5925-1290/1285  
神奈川オフィス 〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-13-13 KM 第一ビルディング 8階  
Tel: 045-477-3570 Fax: 045-471-7678  
大阪オフィス 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-20 TEK 第2ビル 8階  
Tel: 06-6310-9651 Fax: 06-6330-9651  
[www.rohde-schwarz.co.jp](http://www.rohde-schwarz.co.jp)

このアプリケーション・ノートと付属のプログラムは、Rohde & Schwarz 社のウェブサイトのダウンロード・エリアに記載されている  
諸条件に従ってのみ使用することができます。

<http://www.rohde-schwarz.com>