

ローデ・シュワルツ製 ネットワーク・ アナライザを使用した スペクトラム測定

アプリケーション ノート

製品：

R&S®ZVA	R&S®ZVT
R&S®ZVB	R&S®ZNB

このアプリケーションノートでは、ローデ・シュワルツ製ネットワーク・アナライザを使用して、被測定物のスペクトラム測定を行うための設定方法について説明します。

目次

1	はじめに.....	3
2	測定のセットアップ.....	4
3	スプリアス回避.....	6
4	ソフトウェア・プリセクタ	8
5	ポイント数と帯域幅の最適化	10
6	測定例	12
7	非 CW 信号の測定.....	14
8	結論.....	15

1 はじめに

ネットワーク・アナライザは、未知のデバイスに既知の信号を入力することで、そのデバイスの特性を知ることができます。信号を入力することによって反射特性又は伝送特性を測定し、デバイスのSパラメータを計算します。

ネットワーク・アナライザでデバイスの測定を行う場合は、周波数ドメイン（周波数スイープ）で測定を行います。ただし、得られる結果は、デバイスの反射／伝送係数の相対的な測定で得られる電力比を示します。

スペクトラム・アナライザは周波数ドメインで測定を行いますが、測定値は直接得られる電力となります。スプリアス信号や高調波などの未知の信号を見つけるために、周波数スイープを行います。

ネットワーク・アナライザのレシーバを使用すると、絶対電力によって信号を示すことができます。これは、ネットワーク・アナライザ内の個々のレシーバによって検出された絶対電力です。

本書でR&S[®]測定機器を表す場合は、以下の略語を使用します。

- R&S[®]ZVAベクトル・ネットワーク・アナライザはZVAと略記します。
- R&S[®]ZVBベクトル・ネットワーク・アナライザはZVBと略記します。
- R&S[®]ZNBベクトル・ネットワーク・アナライザはZNBと略記します。
- R&S[®]ZVTベクトル・ネットワーク・アナライザはZVTと略記します。

2 測定のセットアップ

スペクトラム測定を実施する前に、測定機器のセットアップ方法を理解するため、まず、ローデ・シュワルツ製ネットワーク・アナライザの RF テストセットの概念を理解する必要があります。

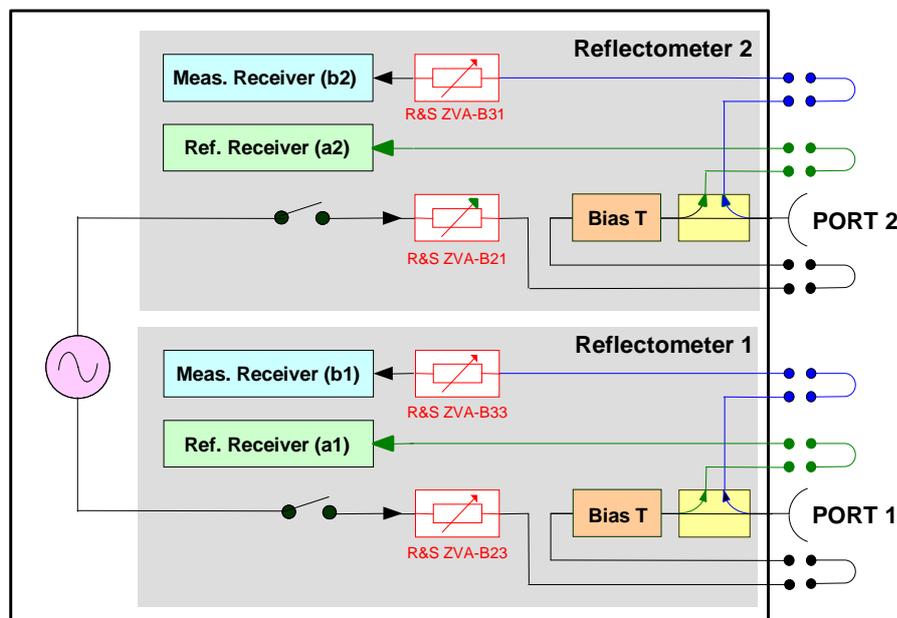


図1 - B16 オプションによる ZVA RF テストセット

ZVA-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを含む ZVA 用テストセットの RF 部分を図 1 に示します。R&S ZVB、ZVT、ZNB のレイアウトもほぼ同様です。ここで注意すべき点は、信号が直接ポート 2 に加えられた場合は、“MEAS” レシーバ “b2” で絶対電力を測定できるということです（ポート 1 使用の場合は “b1”）。ネットワーク・アナライザのユーザ・インターフェースでは、“Wave Quantities” 測定を選択することによって、絶対電力を表示することができます。

ここで、スペクトラム・アナライザとネットワーク・アナライザによる測定の違いについて着目します。

スペクトラム・アナライザ

- カップルド・ファンクション
 - IF 帯域幅と測定ポイントを連成させます（内部的）
 - 測定ポイント数と表示ポイント数は異なります
 - 表示されたポイントは、1つの測定ポイント・グループに対して定義された値を示します
- 選択的なフロントエンド
 - イメージ周波数はアップ・コンバージョン段によって除去されます
 - ハードウェアのプリセレクトの場合もあります
 - 基本波の抑圧が行えるため高調波試験に適しています

ネットワーク・アナライザ

- ポイント数と IF 帯域幅は独立しています（ユーザ選択）
- 表示ポイント数と測定ポイント数は一致しています
- フロントエンドの選択性が限定的
 - IF へのダウン・コンバージョン（約 20 MHz）
 - 40 MHz (=2*IF) のイメージ・レシーバ・ウィンドウ

主な違いの 1 つは、ネットワーク・アナライザのフロントエンドの周波数選択性が限定的なものであるという点です。これは、不要なイメージ周波数を除去するプリセクタが無いからです。イメージ周波数は、ヘテロダイン・レシーバ・システム内で同じ IF を発生させる恐れがあるため、不要な周波数となります。

上の説明にある通り、ネットワーク・アナライザのイメージ・ウィンドウは 40 MHz です。この値が得られるのは、ヘテロダイン・レシーバでは $IF=RF_1-LO$ または $IF=LO-RF_2$ によって IF が算出されます。 RF_1 と RF_2 は、同じ LO によって同じ IF にダウン・コンバージョンされます。したがって、必要な周波数は $RF_1=LO+IF$ ($RF>LO$) によって得られ、不要なイメージ周波数は $RF_2=LO-IF$ ($RF<LO$) によって得られます。以上から $RF_1-RF_2=2*IF$ で、受信周波数の間隔は $2*IF$ となります。

3 スプリアス回避

イメージ・レシーバ・ウィンドウが約 40 MHz なので、測定される信号は、その基本周波数とイメージ周波数において 2 回表示されます。ローデ・シュワルツのネットワーク・アナライザでは、LO 周波数を変更することにより、RF 信号に関してイメージ周波数の位置を選択することができます。

不要なイメージ信号の位置と LO 周波数の依存関係を下の 2 つの図に示します。

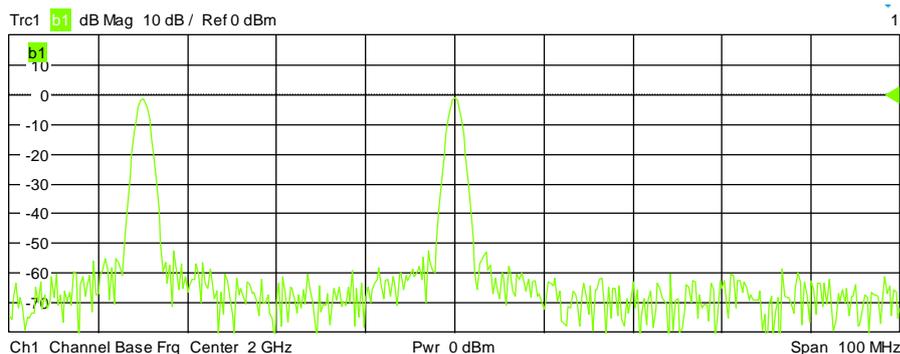


図2 - LO > RF

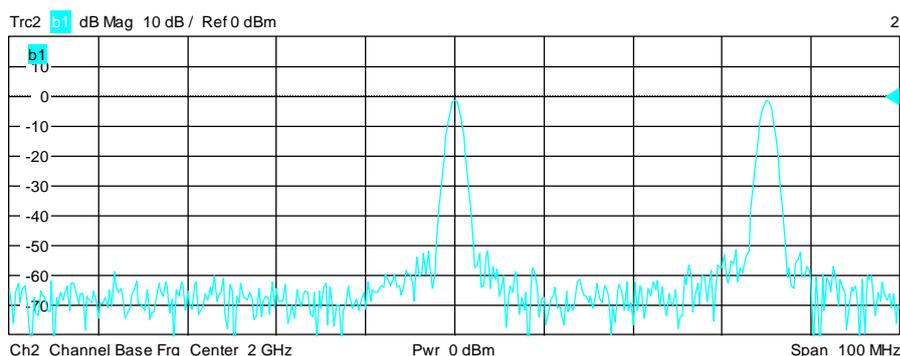
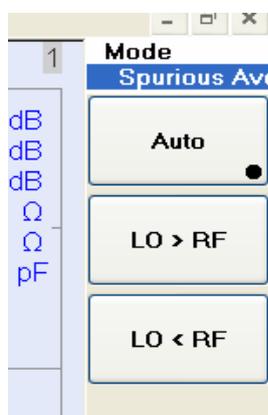


図3 - LO < RF

“MODE”メニューには“Spurious Avoidance”（スプリアス回避）モードがあります。このモードを選択すると LO の位置を変更でき、両方のボタンを切り替えることでイメージ・レシーバ・ウィンドウが 4*IF ずつシフトします。



他のレシーバ・ウィンドウもあります。下の図は、時間ドメイン (t) と周波数ドメイン (f) における RF、LO、および、それらから得られる IF 周波数を示したものです。ネットワーク・アナライザのヘテロダイン・レシーバ内におけるミキシング・プロセスによって、IF は時間ドメインの RF と LO を乗じた値となります。RF 信号のスペクトラムは、LO 周波数だけシフトされます。LO の矩形波は複数の周波数成分を含むスペクトラムを持ち、この信号は、LO の基本周波数と、奇数次高調波に位置する信号から構成されます。

これにより、 $LO \pm RF$ と $n \cdot LO \pm RF$ の IF 信号を生成します (n は係数：奇数の乗数 1、3、5 など)。したがって、レシーバ・ウィンドウは IF 周辺だけではなく、LO の奇数倍を IF に加えた周波数付近にも形成されます。

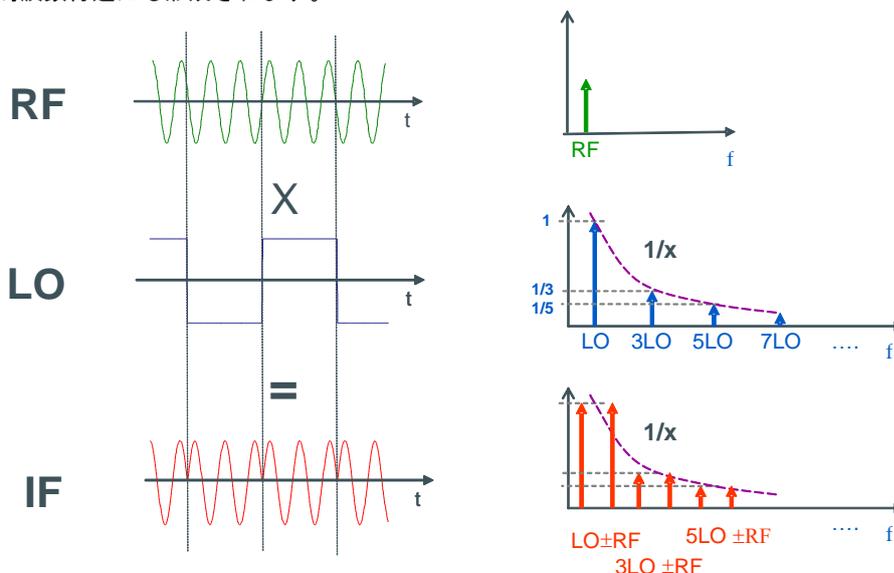


図4- レシーバ・イメージ・ウィンドウの例

これは、多数のポイントを使用して表された 3 GHz CW 信号を見れば確認することができます。

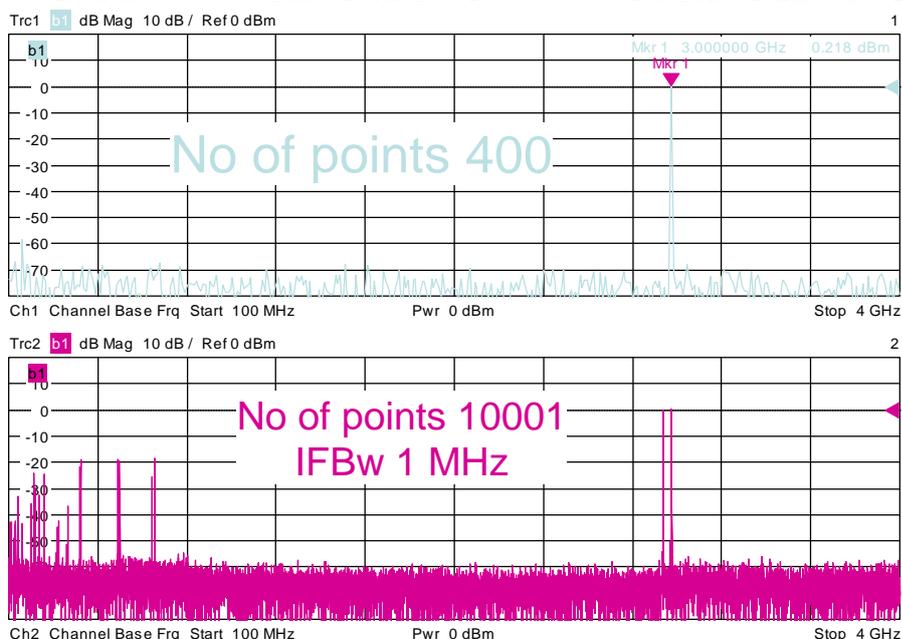


図5- レシーバ入力に複数の信号が存在することを示す結果

4 ソフトウェア・プリセクタ

異なる LO 周波数を選択するとスプリアスの位置が変わるので、不要信号は常に静的なものであり、ソフトウェア・プリセクタを適用することができます。これは、ネットワーク・アナライザのユーザ・インターフェースにあるトレース計算機能を使用することによって実行できます。

b1 レシーバの LO 周波数をスイープしながら、3 GHz に固定した信号を加えた場合のネットワーク・アナライザの結果を図 6 に示します。ここでは 2 つの独立したチャンネル (Ch1, Ch2) を作成して、それぞれトレース [Trc1] と [Trc2] を割り当てました。[Trc1] はスプリアス回避メニューで LO > RF を選択されており、[Trc2] は LO < RF を選択したものを設定しています。3 GHz で確認できる周波数成分は 1 つだけであることが分かります。他はスプリアス信号ですが、これは移動します。

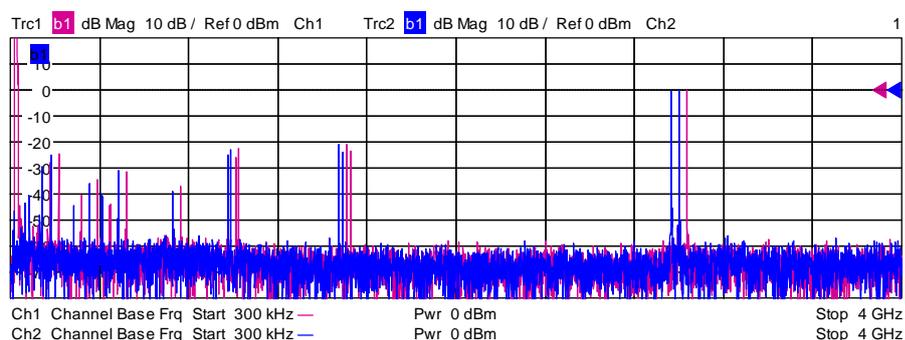


図 6- LO 設定の異なる個別のチャンネルにおける 2 つのスイープ

トレース計算機能より、式 $\text{Min}(\text{Trc1}, \text{Trc2})$ を使用して各チャンネルの各周波数で最小値を取ることにより、どちらのチャンネルにおいても静的で同一のものを除いてすべての不要信号が除去され、3 GHz における所望信号が残ります。

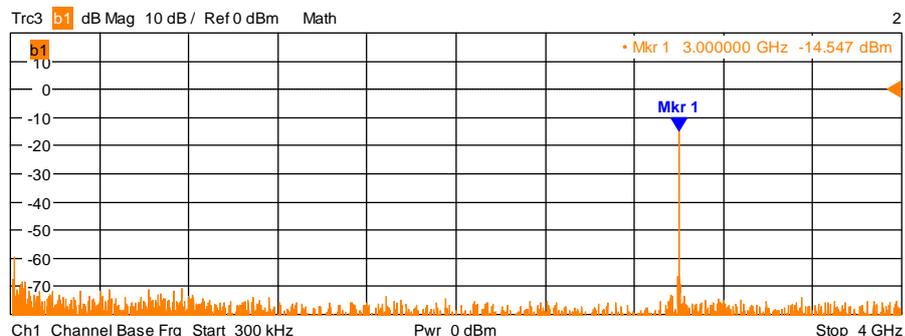


図 7- トレース計算プリセクタを有効にすることで得られるスペクトラム・スイープ

これは、図 8 に示す “Trace Funct” メニューの “User Defined Math” 機能で設定することができます。

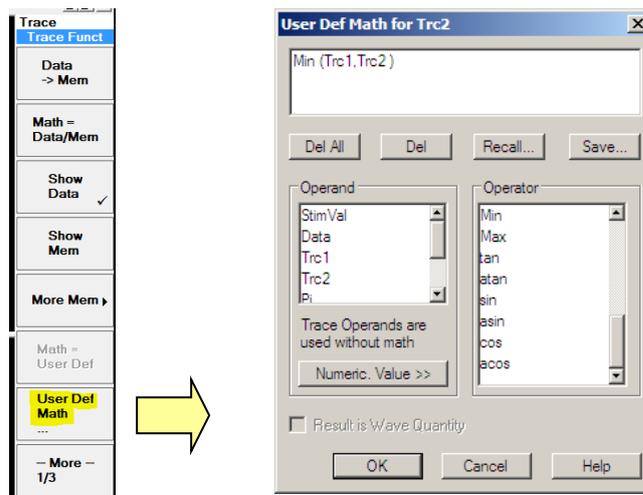


図 8 - トレース計算エディタの設定

5 ポイント数と帯域幅の最適化

最新のネットワーク・アナライザには、スペクトラム・アナライザのようなスタート周波数からストップ周波数までの連続ランプ・スイープ機能がなく、そのスイープにおいて選択されたポイント数に基づき、指定された周波数ポイントでステップ測定を行います。したがって、周波数ステップと選択された測定帯域幅によってはスイープに抜けが生じ、情報が欠落してしまう可能性があります。

したがって、そのスイープの周波数範囲におけるすべての情報を取得できるように、周波数ステップと測定帯域幅については十分な検討を行う必要があります。

以下の例を参照してください。

8 GHz から 12 GHz までのスパン 4 GHz で 801 個の測定ポイントを取る場合、周波数ステップ・サイズは 5 MHz となります。ここで、IF 帯域幅を 10 kHz とすると測定レシーバでカバーできない範囲が生じ、信号が欠落する可能性があります。

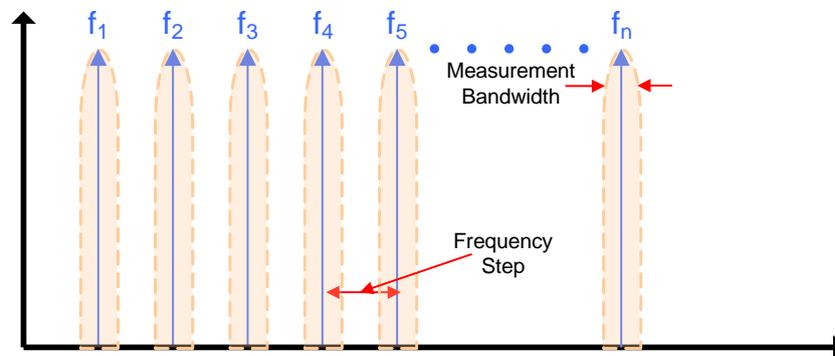


図9 - ステップ周波数スイープの例

測定ポイントをうまくオーバーラップさせるには、周波数ステップ・サイズを IF 帯域幅よりも小さくする必要があります。

測定にはできるだけ広い IF 帯域幅を選択して、その測定に必要なノイズ・フロアを確保することが望まれます。これは、スイープ時間を最小限に抑えたとともに測定レシーバ・ウィンドウの幅を広げ、結果として必要なデータ・ポイント数が少なくて済むという効果をもたらします。

周波数ステップ・サイズは次式で計算できます。

$$\text{Frequency Step Size} = \frac{(f_{\text{Stop}} - f_{\text{Start}})}{\text{Number of points} - 1}$$

この式から、周波数ステップ・サイズが必要な IF 帯域幅内に十分に収まるようにして、最適なポイント数を計算することができます。周波数ステップ・サイズは、ネットワーク・アナライザのユーザ・インタフェースの“Channel Sweep”メニューから、直接読み取って決定することができます。



図 10 - 周波数ステップ・サイズの決定メニュー

経験則として、周波数ステップ・サイズは IF 帯域幅の 1/2 程度に抑えるのが望ましいです。これによって、情報の欠落や振幅特性に誤差が発生する恐れがなくなります。測定フィルタの帯域幅はネットワーク・アナライザの表示測定帯域幅によって決まり、その値は 3 dB なので、周波数ステップ・サイズが測定帯域幅に近付いた時の最大誤差は 3 dB であると予想できます。

データ・ポイントを最大数 60,001 ポイント、IF 帯域幅を 5 MHz とすると、測定可能な最大周波数幅は次のようになります。

$$2.5 \text{ MHz} * 60,000 = 150 \text{ GHz}$$

6 測定例

この章では、ZVA ネットワーク・アナライザを使用して、周波数範囲が 7 GHz~12 GHz の信号についてスペクトラム測定を行う場合の例を示します。このアプリケーションは、指定周波数範囲内のスプリアス信号を確認して、-60 dBm を超える信号が測定された場合は異常として判定することを目的としています。

適切なチャンネルと前述したトレース計算機能を設定したら、1 MHz の帯域幅から測定を開始します。これにより、最小限の時間でスイープを行うことができます。システムのノイズ・フロアは、ネットワーク・アナライザのポート 2 に信号が入力されていない状態で確認することができます。ZVA ネットワーク・アナライザを使用した場合は約-90 dBm で、このアプリケーションに関しては十分に余裕のある値です。ノイズ・フロアの改善は IF 帯域幅を小さくすることによって実現できますが、スイープ時間は長くなります。

B16 オプションのダイレクト・レシーバ・アクセスを使用すれば、さらに約 10 dB の改善を実現することができますが、その場合は、テスト・ポート・カップラ取り外しによる損失を補正するために、レシーバ・パワー校正を行う必要があります。

次に、切れ目なく周波数をカバーすることのできるポイント数を明らかにする必要があります。スパン 5 GHz の場合、データ・ポイント数を 10,001 とすると周波数ステップ・サイズは 500 kHz となります。これは、1 MHz の IF 帯域幅で十分なオーバーラップを実現します。IF 帯域幅を狭くすると、周波数カバレッジが途切れないようにするために、データ・ポイントの数を増やさなければならなくなります。

セットアップの最適化は以上で完了となり、ネットワーク・アナライザはスペクトラム測定を開始できる状態になります。スプリアス信号を特定するプロセスは、しきい値を-60 dBm に設定した限界線を使用して簡単にすることができます。自動化のためにピーク・マーカを使用して任意のスプリアス発生位置へジャンプし、その値を明らかにすることも可能です。これを図 11 に示します。

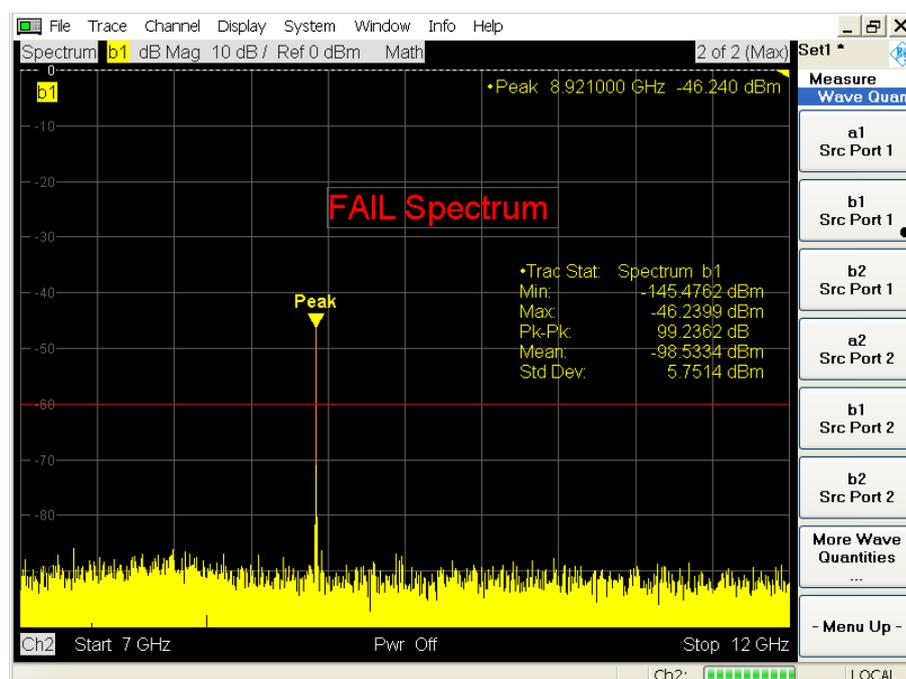


図 11 - スプリアス信号特定のためのスペクトラム測定例

図 11 に示す測定は、両方のチャンネル（LO>RF および LO<RF）のスweepを含めて 800 ms 以内に終了します。

7 非 CW 信号の測定

ネットワーク・アナライザは、通常、そのレシーバが自身の CW（連続波）信号を測定するように最適化されます。これは、“More Wave Quantities” ダイアログ・ボックスにある “Detector” 設定の “Normal” モードです（図 12）。ネットワーク・アナライザは、このようにして各データ・ポイントにつき 1 つの測定を行い、できるだけ速い方法で次のデータ・ポイントへ移動します。これは、スペクトラム・アナライザの “Sample” 検波器に相当します。

測定に際しては、非周期的な信号や変調された信号を解析することを求められることがあります。スペクトラム・アナライザでこれらの信号を解析する場合は、適切な検波器を選択するように注意しなければなりません。これらと同じ検波器は、ローデ・シュワルツのネットワーク・アナライザでも使用することができます。

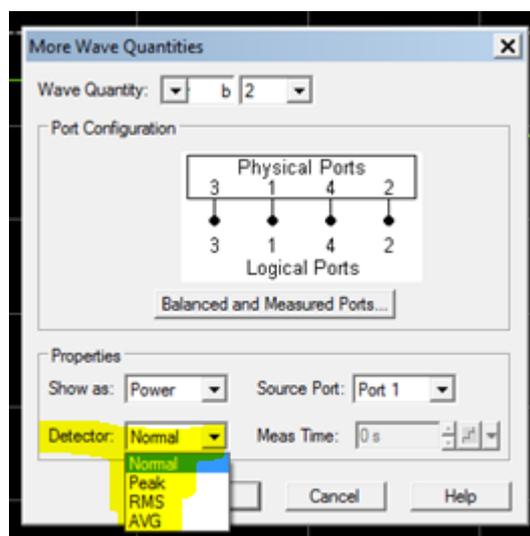


図 12 - Wave Quantities（絶対電力）ダイアログの検波器設定

“Peak”、“RMS”、または“AVG”検波器を選択した場合は、表示されるトレース・ポイントの計算に使用するアルゴリズムが変更されて、観測時間が含まれるようになります。この観測時間は、“Meas Time”（測定時間）ダイアログで定義できます。これは、その定められた時間内に、連続測定データを一定の格納場所に保存する設定だと考えることができます。選択した検波器に応じて、この格納場所のデータから計算された必要なデータを使用し、次の要領で 1 つの測定ポイントを表示します。

Peak（ピーク） – 測定データの格納場所に収集されたすべての有効サンプルを検索し、最大振幅（最大電力）を持つ結果をピーク測定値として表示します。

RMS – 測定データの格納場所に収集されたすべての有効サンプルについて振幅の線形値を二乗平均平方根（RMS）で計算し、その結果を rms 電力値として表示します。

AVG – 測定データの格納場所に収集されたすべての有効サンプルの複素演算平均値を計算して、結果を平均電力として表示します。平均を行うと、測定信号から統計的変動要素（たとえばノイズ寄与分）が除去される傾向があります。

8 結論

ここでは、ローデ・シュワルツのネットワーク・アナライザで基本的なスペクトラム測定を行うための設定方法を示しました。スペクトラム・アナライザには数多くの機能を備えた便利な専用ユニットが組み込まれているので、ネットワーク・アナライザをスペクトラム・アナライザとまったく同じものに見なすべきではありません。しかし、このアプリケーションノートに示したように、ソフトウェア・プリセクタによるスペクトラム測定手法は、すでにネットワーク・アナライザを使用して被測定物の S パラメータ測定を行ったデバイスに対して、基本的なスペクトラム測定を行うような場合に便利です。一般的に、スペクトラム・アナライザの方が測定時間は短く、小信号を検出するためのフロントエンド感度も優れています。

しかし、このような利便性よりもひとつのアドバンテージがネットワーク・アナライザにはあります。ローデ・シュワルツの 2 ポート・ネットワーク・アナライザは 4 個の専用レシーバ、4 ポート・ネットワーク・アナライザは 8 個の専用レシーバを備えていますが、従来のスペクトラム・アナライザでは 1 個だけです。これは、複数のデバイスを同時に測定しなければならない場合や、DUT のポートが複数あってそれらを並列でモニタしなければならない場合に高い柔軟性を発揮します。また、速度の面でも大きな利点となります。ローデ・シュワルツのネットワーク・アナライザは、そのユニークなアーキテクチャにより、すべてのレシーバのデータを並列でキャプチャすることができます。したがって、複数のレシーバ入力を測定する場合でも、単一入力の場合に比べて時間的な不利益を被ることがありません。

レシーバ測定においては、絶対電力でレシーバ・パワー校正をすることによって、絶対電力確度を向上させることができます。この機能の詳細については、測定機器のオンライン・ヘルプをご覧ください。

ローデ・シュワルツについて

ローデ・シュワルツ・グループ（本社：ドイツ・ミュンヘン）は、エレクトロニクス分野に特化し、電子計測、放送、無線通信の監視・探知および高品質な通信システムなどで世界をリードしています。

75年以上前に創業し、世界70カ国以上で販売と保守・修理を展開している会社です。

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社／東京オフィス

〒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

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 2-8-12

Attend on Tower 16 階

TEL:045-477-3570 (代) 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 (代) FAX:06-6330-9651

サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷 4-2-20

浦和テクノシティビル 3 階

TEL:048-829-8061 FAX:048-822-3156

E-mail: info.rsjp@rohde-schwarz.com

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

Certified Quality System

ISO 9001

DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System

ISO 14001

DQS REG. NO 1954 UM

このアプリケーションノートと付属のプログラムは、ローデ・シュワルツ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。

掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。

おことわりなしに掲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。