

ベクトル・ネットワーク・ アナライザによるノイズ・ ソース不要の雑音指数測定 アプリケーションノート

製品：

R&S®ZVA	R&S®ZVAB-K30
R&S®ZVT	R&S®NRP-Z55

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 R&S ZVA シリーズならびに R&S ZVT シリーズを使用した雑音指数測定について解説しています。まず、標準ノイズ・ソースを必要としない雑音指数測定概念を説明します。そして、さまざまな測定アプリケーションと、それらに対応するセットアップや関連事項についても述べます。

また、実際のデバイスを例にとり、測定器のセットアップならびに測定結果を紹介しています。

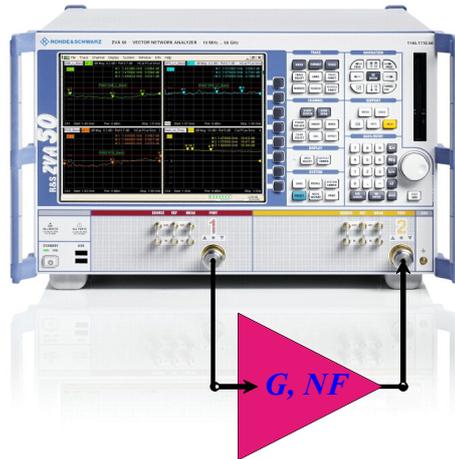
目次

1	R&S ZVAB-K30 – 雑音指数測定	4
1.1	測定原理	4
1.1.1	雑音指数の定義	4
1.1.2	AVG 検波器と RMS 検波器	5
1.1.3	AVG 検波器と RMS 検波器の値より雑音パワーの計算	6
1.1.4	システム・モデル	8
1.2	推奨機器	9
1.3	測定セットアップの選択	10
1.3.1	基本セットアップ	11
1.3.2	内部ステップ・アッテネータを使用したセットアップ	11
1.3.3	外部アッテネータを使用したセットアップ	11
1.3.4	ダイレクト・レシーバ・アクセスを使用したセットアップ	11
1.3.5	ダイレクト・レシーバ・アクセスの測定パスにプリアンプを使用したセットアップ	11
1.3.6	受信ポートの前段にプリアンプを使用したセットアップ	11
1.3.7	パラレル測定時の 1 ポート・セットアップ	12
1.3.8	マッチング改善のためのセットアップ	12
1.4	セットアップ選択の実践的ガイド	12
1.4.1	ネットワーク・アナライザの仕様の確認	12
1.4.2	レシーバのセットアップ	14
1.4.3	プリアンプの選択	16
1.4.4	減衰量の選択	17
1.4.5	信号源のセットアップ	18
1.5	一般的な雑音指数測定の設定手順	19
1.5.1	ステップ 1：基本設定	20
1.5.2	ステップ 2：ソースパワー校正	20
1.5.3	ステップ 3：測定レシーバ校正	21
1.5.4	ステップ 4：雑音指数測定の設定	21
1.5.5	ステップ 5：雑音指数校正	23
1.5.6	ステップ 6：雑音指数トレースを有効にする	25
1.6	雑音校正の有効性	26

1.7	雑音指数測定における制約	26
1.7.1	低周波での検討事項	26
1.7.2	狭帯域 DUT	26
1.7.3	高周波での検討事項	27
1.8	一般的な落とし穴	27
1.8.1	外部信号による干渉	27
1.8.2	圧縮の影響	27
1.8.3	DUT の入出力マッチング	27
1.9	S パラメータの同時測定	27
2	測定の不確かさ	29
2.1	誤差の予測	30
2.2	測定の誤差の検証例	31
3	測定例	37
3.1	Mini-Circuit 社製アンプ ZJL-3G+	37
3.1.1	DUT	37
3.1.2	測定セットアップ a) - 内部ステップ・アッテネータを使用し、R&S ZVA40 で測定した場合	38
3.1.3	雑音指数の測定結果	43
3.1.4	測定セットアップ b) - オプションを使用せず、R&S ZVA8 で測定した場合	44
3.1.5	雑音指数の測定結果	50
3.2	ローノイズアンプ BFP740F	51
3.2.1	DUT	51
3.2.2	測定セットアップ	51
3.2.3	雑音指数の測定結果	58
3.2.4	オプションを使用せず、R&S ZVA8 で測定した結果	61
3.3	パラレル測定	61
4	オーダー情報	64

1 R&S ZVAB-K30 – 雑音指数測定

雑音指数測定は、RF やマイクロ波の世界で使用される基本測定アプリケーションの 1 つです。ローデ・シュワルツの R&S ZVA と R&S ZVT は、迅速、正確、かつ簡単にこれらのアプリケーションに対応するネットワーク・アナライザです。



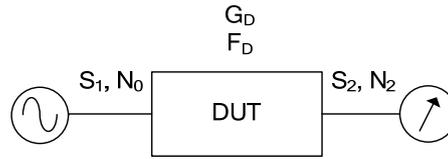
ローデ・シュワルツのベクトル・ネットワーク・アナライザは、新しい洗練された方法による雑音指数測定を可能にします。シンプルで分かりやすいこのアプローチは、インピーダンス・チューナも、既知の ENR（付加雑音比）を持つ校正済みのノイズ・ソースも必要としません。この手法では、ネットワーク・アナライザ信号源からの CW 信号を使用します。このアナライザは、2つの異なる検波器を使用して、被測定物（DUT）通過後の「信号」出力パワーと「信号 + 雑音」出力パワーを個々に測定します。アナライザはこの情報を使用し、校正結果に基づいて DUT の雑音指数を計算します。

この方法はセットアップが単純なので、雑音指数と DUT の S パラメータを一度の接続で同時に測定することができます。したがって、デバイスの接続をやり直さないため、完全な特性付けを行うことが可能です。

1.1 測定原理

1.1.1 雑音指数の定義

線形デバイスの雑音係数 F はデバイスの入力と出力における信号雑音比（SNR）の比率として定義されますが、これは、入力信号源のマッチングが取られ、入力雑音パワー $N_0 = kT_0B$ が理想的な値であることを前提としています。記号 $k = 1.3806 \cdot 10^{-23}$ J/K はボルツマン定数、 T_0 はデバイス温度、 B は有効システム帯域幅を表します。雑音指数はより一般的に定義することも可能で、その場合は 4 つの雑音パラメータ (F_{\min} 、 R_N 、 G_{opt} 、 Phi_{opt}) を定義することになりますが、このアプリケーションノートでは標準的な雑音指数の事例を扱います。



$$F_D = \frac{\frac{S_1}{N_0}}{\frac{S_2}{N_2}} = \frac{S_1 N_2}{S_2 N_0} = \frac{S_1 N_2}{S_1 G_D N_0} = \frac{N_2}{G_D N_0}$$

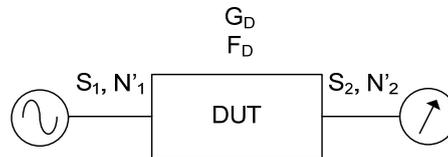
上の式において、 S は信号パワー、 N は雑音パワーを表します。定義に従い、DUT の入力端における雑音パワーは N_0 に等しくなければなりません。DUT の利得 G_D は、このアプリケーションノートでは電力利得として定義されます。

$$G_D = \frac{S_2}{S_1}$$

雑音係数をデシベルで表した場合に得られる量が、雑音指数 NF と呼ばれます。雑音係数は電力値の比なので、dB への変換は次式に従って行われます。

$$NF_D = 10 \log(F_D)$$

入力雑音パワーが N_0 に等しくない場合、雑音係数は次のように計算できます。



$$N'_1 = N_0 + \Delta N$$

$$N'_2 = N_2 + G_D \Delta N$$

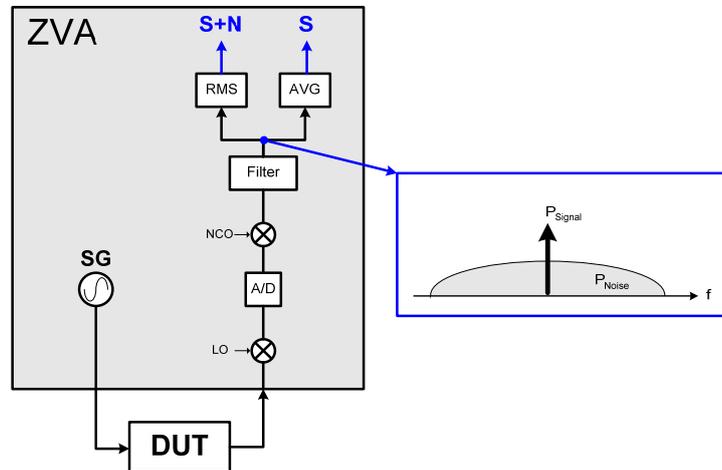
$$F_D = \frac{N_2}{G_D N_0} = \frac{N'_2 - G_D \Delta N}{G_D N_0} = \frac{N'_2 - G_D (N'_1 - N_0)}{G_D N_0} = \frac{N'_2}{G_D N_0} - \frac{N'_1}{N_0} + 1$$

1.1.2 AVG 検波器と RMS 検波器

雑音指数測定の主要なステップは、DUT の利得と、DUT 自体によって生成される雑音パワーを DUT 出力端において測定することです。利得測定は、ベクトル・ネットワーク・アナライザの基本測定機能です。課題は、CW 信号が存在する可能性の下で雑音パワーを正しく決定することです。

一般に広く使われている方法では ENR が既知のノイズ・ソースを使用して Y ファクタ法で NF を測定しますが、R&S ZVAB-K30 は異なる原理で測定を行います。

この方法では、アナライザで設定された帯域幅における DUT 通過後の信号の平均値と二乗平均平方根 (rms) を計算することによって、CW 信号の出力パワーと信号+雑音の出力パワーを個々に測定します。R&S ZVA と R&S ZVT は、このためにデジタル IF フィルタを使用しています。



フィルタリングされた複素測定サンプル (電圧) の数列 x_i を考えた場合、ネットワーク・アナライザはサンプルの平均値 x_{AVG} と rms 値 x_{RMS} を次のように計算します。

$$x_{AVG} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (1)$$

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |x_i|^2} \quad (2)$$

サンプル数 M は、ユーザの設定した測定時間によって決まります。平均値を求めるプロセスは、IF 信号から CW キャリア信号を取り出す狭帯域フィルタと見なすことができます。測定時間が増えれば、結果としてサンプル数が増え、フィルタの帯域幅は狭くなります。平均値の二乗は、CW 信号だけの出力パワーを表します。

rms 値の二乗は、測定帯域幅内での合計信号 (CW 信号と雑音) の出力パワーを表します。測定時間を増やすことによって測定値の変動が小さくなり、より安定した電力値が得られます。DUT の出力端における雑音パワーは、rms 値測定パワーと平均値測定パワーの差です。

次の項では、この計算をより詳しく説明します。

1.1.3 AVG 検波器と RMS 検波器の値より雑音パワーの計算

より詳細な導出を行うために、ここでは、ダウン・コンバートしてフィルタをかけた複素デジタル入力信号を次のような形で表すものとします。

$$x_i = s + n_i.$$

ここで、 s は複素キャリア信号振幅、 n_i は雑音信号を表します。検波器の値を二乗すると次のようになります。

$$x_{RMS}^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |s + n_i|^2 = |s|^2 + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |n_i|^2 + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (sn_i^* + s^* n_i)$$

$$|x_{AVG}|^2 = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (s + n_i) \right|^2 = |s|^2 + \left| \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i \right|^2 + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (sn_i^* + s^* n_i)$$

したがって、これら 2 つの二乗値の差は次の通りです。

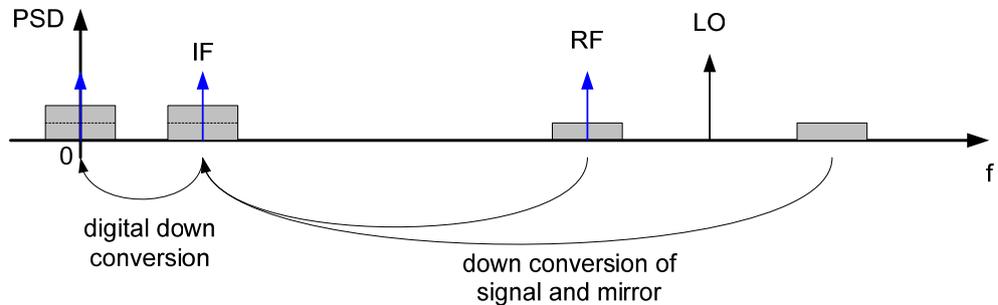
$$x_{RMS}^2 - |x_{AVG}|^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |n_i|^2 - \left| \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i \right|^2. \quad (1)$$

右辺第 1 項は雑音信号の平均パワーを表します。RF または IF ドメインにおける白色雑音の平均値はゼロなので、M が大きい場合、第 2 項は急速にゼロに収束します。デジタル入力信号の雑音パワー N は、最終的に次式によって計算されます。

$$N = \frac{1}{2R_L} (x_{RMS}^2 - |x_{AVG}|^2) \quad (2)$$

ここで、 R_L は 50Ω のシステム・インピーダンスを表します。

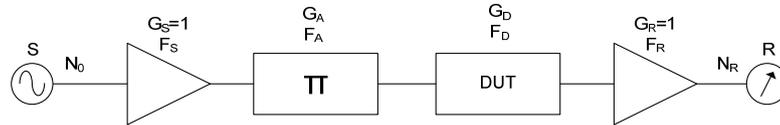
上の式では、ネットワーク・アナライザのダウン・コンバージョンがイメージ除去を考慮しないシングル・コンバージョンであることから、係数 2 を採用しています。



RF 信号を中間周波数 (IF) にダウン・コンバートする時は、ダブル・サイドバンド・ミキサが使用されます。これは、両方のサイドバンド、つまり上側 $f_{LO} + f_{IF}$ と下側 $f_{LO} - f_{IF}$ のサイドバンドを IF 周波数に変換します。上の図では、ネットワーク・アナライザの信号源は下側サイドバンドで操作されます。上側サイドバンドには信号が存在しないので、これはネットワーク・アナライザにとって問題とはなりません。ただし、DUT の雑音は両方のサイドバンドに存在します。したがって、中間周波数では両方のサイドバンドの雑音パワーが加わります。パワー校正は信号パワーに対して行われるので、RF ドメインにおける一方のサイドバンドの実際の雑音パワーは、IF またはベースバンド・ドメインで測定される雑音パワーの半分です。前提は、両方のサイドバンドにおける雑音パワーが等しいことです。

1.1.4 システム・モデル

DUT の雑音指数の計算には、以下のシステム・モデルが使われます。



このモデルでは信号源 (S) が理想的なものと仮定し、CW 信号の他には理想的な雑音パワー $N_0 = kT_0B$ しか生成しないものとします。この信号源の付加雑音は、雑音係数 F_S の仮想アンプによってモデル化されます。実際の信号源における非理想的な CW 信号の振幅はネットワーク・アナライザの従来のソースパワー校正によって補正されると仮定するので、仮想アンプについては利得 $G_S = 1$ という選択がなされるものとします。想定される外部アッテネータまたは内部ステップ・アッテネータ (A) の特性は、利得 $G_A < 1$ と雑音係数 $F_A = 1/G_A$ で表されま

す。DUT の利得 G_D はネットワーク・アナライザにより雑音測定と並行で測定され、雑音係数 F_D が決定します。この一連の処理における最後の要素が測定レシーバ (R) です。信号源同様、その非理想的な雑音特性は、雑音係数 F_R の仮想アンプによってモデル化されます。レシーバの非理想的な CW 信号特性は従来の測定レシーバ校正によって補正されるものと仮定するので、 $G_R = 1$ という選択がなされます。

このシステム・モデルに基づき、R&S ZVAB-K30 は、測定雑音パワー N_R 、測定 DUT 利得 G_D 、およびシステム・パラメータ G_A 、 F_R 、 F_S から DUT の雑音係数 F_D を次式により計算します。

$$F_D = \frac{N_R}{N_0 G_D} + (1 - F_S) G_A - \frac{F_R - 1}{G_D}.$$

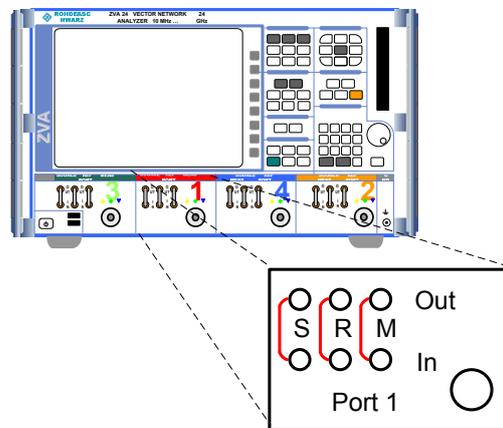
システム・モデルの未知のパラメータ G_A 、 F_R 、 F_S は雑音校正手順の実行時に決まりますが、これについては後述します。

1.2 推奨機器

R&S ZVAB-K30 雑音指数測定オプションについては、優れた柔軟性と使いやすさを実現するために、ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプション R&S ZVAxy-B16、および内部信号源のステップ・アッテネータ・オプション R&S ZVAxy-B2z を備えた R&S ZVA や R&S ZVT を使用することを推奨します。

使用するネットワーク・アナライザにダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションや内部ステップ・アッテネータがない場合でも、R&S ZVAB-K30 オプションがあれば雑音測定が可能で、基本的な手順も同じです。ただし、一部のセットアップが異なることや使用できない場合があります。

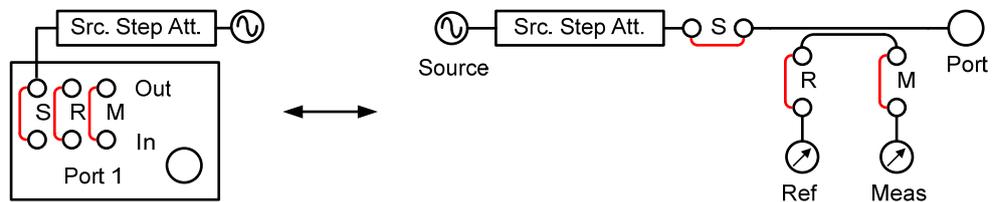
以降の雑音指数関連のセットアップをわかりやすくするため、下の図に示すように、図解時はダイレクト・レシーバ・アクセス・コネクタ R&S ZVAxy-B16 の測定ポートだけを示します。



ダイレクト・レシーバ・コネクタは次の記号で表します：

- S** 信号源パス
- R** レシーバ・パス
- M** 測定パス

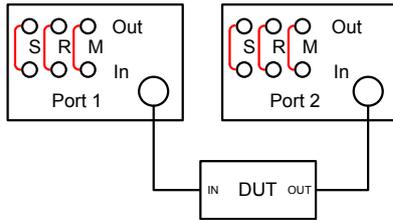
セットアップ・オプションについての理解を深めるために、ポートの内部構造とステップ・アッテネータの接続を下の図に示します。図は双方向の方向性結合器の使用を前提としています。



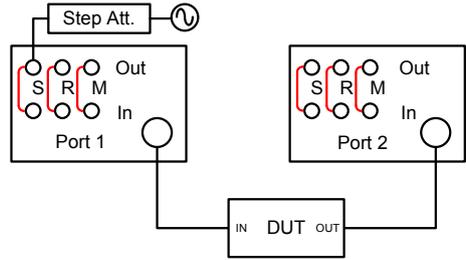
1.3 測定セットアップの選択

雑音指数測定においては、DUT の特性、使用するベクトル・ネットワーク・アナライザ、およびハードウェア・オプションに応じて、様々なセットアップが可能です。以下に示す図と項では、考えられるセットアップ・オプションの概要を示します。これらのオプションは、アプリケーションに応じ、組み合わせることもできます。所望の測定タスクに合った適切なセットアップを選ぶためのガイドは、1.4 項に示します。

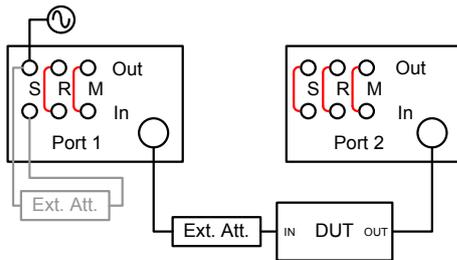
Setup Option 1: Basic Configuration



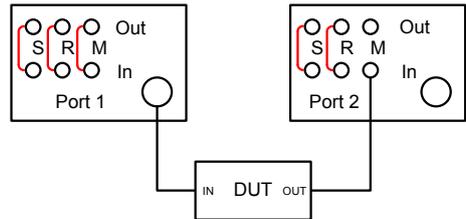
Setup Option 2: Source Step Attenuator



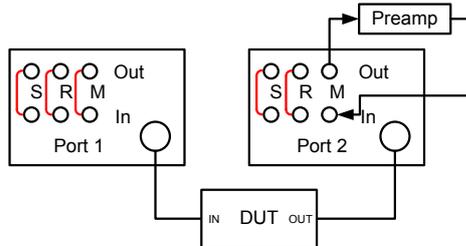
Setup Option 3: Additional External Attenuator



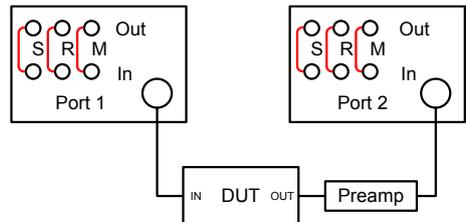
Setup Option 4: Direct Receiver Access



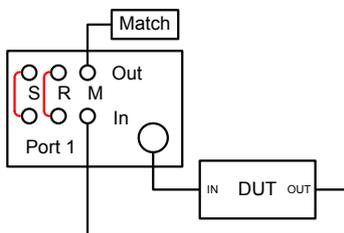
Setup Option 5: Pre-Amplifier in Meas Path



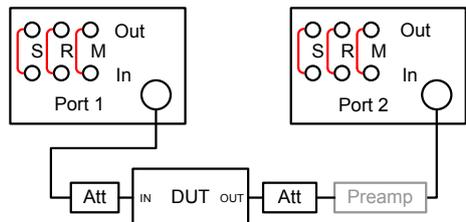
Setup Option 6: Pre-Amplifier in Front of Port



Setup Option 7: One Port Setup



Setup Option 8: Increased Matching



1.3.1 基本セットアップ

他のコンポーネントを追加することなく、アナライザの 2 つのポート間に DUT を直接接続します。これが最も簡単なセットアップですが、測定できるデバイスは限られます。入力パワーを減らし、マッチングを改善するために DUT の前段にアッテネータを挿入したり、DUT の後段にプリアンプを挿入してレシーバの雑音指数を下げたりする必要があります。

1.3.2 内部ステップ・アッテネータを使用したセットアップ

多くの場合は、DUT の入力パワーを許容最大値以下に抑えるために、信号源出力をさらに下げする必要があります。これは、電子式アッテネータの動作範囲が限られているためです。さらに、電子式アッテネータを使用すると小信号出力時の信号源雑音が増大します。アナライザが信号源ステップ・アッテネータ・オプションを備えたものである場合、第一の選択肢は内部ステップ・アッテネータを使用することです。これは、使いやすさと、先に述べた性能上の利点によります。

1.3.3 外部アッテネータを使用したセットアップ

内部ステップ・アッテネータを使用できない場合は外部アッテネータを使用しますが、パワー校正時における使用を考慮する必要があります。ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを使用できる場合は、外部アッテネータを信号源パスに接続できます。使用できない場合はポート・コネクタに接続してください。信号源雑音校正と DUT 測定で減衰値が異なる場合は、雑音校正ダイアログの「Additional External Attenuator」チェックボックスをオンにしてください。

1.3.4 ダイレクト・レシーバ・アクセスを使用したセットアップ

受信ポートの感度を上げるために、DUT の出力をダイレクト・レシーバ・アクセスの「Meas In」コネクタに直接接続することができます。方向性結合器をバイパスすると、ネットワーク・アナライザのレシーバ雑音指数が改善されます。改善の度合いは、バイパスした方向性結合器の結合損失と同程度です。このセットアップにおいては DUT の順方向測定のみ可能となります。

1.3.5 ダイレクト・レシーバ・アクセスの測定パスにプリアンプを使用したセットアップ

利得も雑音指数も小さい DUT の場合、ネットワーク・アナライザのレシーバ雑音指数が大きくなり過ぎて、正確な結果を得られない恐れがあります。この場合は、測定パスに低ノイズのプリアンプを接続します。一般的には、プリアンプの利得分だけ測定器の感度が向上します。この構成では双方向測定が可能で、DUT のすべての S パラメータを測定することができます。

1.3.6 受信ポートの前段にプリアンプを使用したセットアップ

ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを使用できない場合は、DUT と受信ポートの間にプリアンプを接続する必要があります。ただし、この構成で可能な測定は一方方向だけになります。

1.3.7 パラレル測定時の1ポート・セットアップ

ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを使用する場合は1つのポートでDUTの測定を行うことができるので、4ポート・アナライザでは4つのデバイスを並行して測定することができます。ただし測定できるのは一方向だけで、得られる利得やマッチング特性には、システム・エラー補正は反映されていません。

1.3.8 マッチング改善のためのセットアップ

雑音指数の測定には、測定器のポートとDUT間の mismatch が大きく影響します。これは、雑音指数が小さい場合に顕著になります。これは、DUTの両端にマッチング・パッドを追加することによって改善されます。アッテネータは測定セットアップの一部なので、セットアップの校正プロセス時に考慮する必要があります。

アプリケーション・ヒント： 信号源ステップ・アッテネータ・オプションを使用できる場合は、減衰値を 0dB 以外の値に設定することによって、受信ポートのマッチングを改善することができます。

1.4 セットアップ選択の実践的ガイド

以上に述べたように、R&S ZVAB-K30 雑音測定オプションには、要求に応じてさまざまなセットアップを選択することができます。これまでは各種セットアップの概要について説明しましたが、以降では、測定タスクに適したセットアップと設定を選ぶための一般的な手順について述べます。

1.4.1 ネットワーク・アナライザの仕様の確認

適切なレシーバ・セットアップを選ぶには、ネットワーク・アナライザの雑音指数 NF_R と 1dB 圧縮ポイント P_{1dB} (dBm で指定する場合は $L_{P,1dB}$ で表されます) を知る必要があります。測定対象の周波数範囲とネットワーク・アナライザのモデル名に応じて、これらの仕様値を表 1 と表 2 で確認してください。

どちらの表にもネットワーク・アナライザのモデル名（「デバイス」フィールド）、各周波数に対するレシーバ雑音指数と入力圧縮ポイントの代表値が、「ポート」および「B16」という2つの入力端に対して示されています。DUT 出力を「Port」コネクタに接続するか「Meas In」コネクタに直接接続するかによって、対応する表が異なります。

R&S ZVA/B の代表的な特性													
周波数によるレシーバ雑音指数 NF_R の変化													
デバイス	入力	4 GHz	8 GHz	12 GHz	16 GHz	20 GHz	24 GHz	28 GHz	32 GHz	36 GHz	40 GHz	44 GHz	50 GHz
ZVA8	ポート	35	35										
	B16	23	23										
ZVA24	ポート	42	42	42	45	45	45						
	B16	31	31	31	33	33	33						
ZVA40	ポート	35	35	35	35	35	35	48	48	48	50		
	B16	28	28	28	28	28	28	38	38	38	38		
ZVA50	ポート	35	35	35	35	35	35	48	48	48	50	53	53
	B16	28	28	28	28	28	28	38	38	38	38	40	40

表 1 : R&S ZVA/B のレシーバ雑音指数

R&S ZVA/B の代表的な特性		
1dB 圧縮ポイント		
デバイス	入力	$L_{P,1dB}$
ZVA8	ポート	10dBm
	B16	-5dBm
ZVA24	ポート	6dBm
	B16	-10dBm
ZVA40	ポート	3dBm
	B16	-10dBm
ZVA50	ポート	3dBm
	B16	-10dBm

表 2 : R&S ZVAxy-B16 を備え、ローノイズ IF 利得を設定した時の R&S ZVA/B のレシーバ圧縮ポイント

これら 2 つの表に示されているのは代表的なデータで、ほとんどの場合はこれらの値によって正しいセットアップを行うことができます。より正確なレシーバ雑音指数 F_R が必要な場合は、1.5 項に示すように、プリアンプなしの標準セットアップでパワー校正と雑音校正を行うことにより、正確な値を得ることができます。レシーバ雑音校正ステップを完了すると、「Noise Figure Calibration」ダイアログのダイアグラムエリアに正確なレシーバ雑音指数が表示されません。

1.4.2 レシーバのセットアップ

プリアンプの有無を含むレシーバのセットアップは、上で確認したアナライザのレシーバ雑音指数 F_R と DUT の利得 G_D に基づいて決まります。DUT の雑音指数を測定するには、レシーバ自体が生成する雑音によって DUT が生成する雑音が隠されてしまわないようにする必要があります。

受信ポート入力端の雑音パワーは次のように表すことができます。

$$N_R = N_S G_D + (F_D - 1) G_D N_0 + (F_R - 1) N_0.$$

第 1 項は信号源ポートの雑音パワーを表します。アッテネータの値が大きい場合、この項は無視できます。第 2 項は DUT によって生成される雑音で、第 3 項は受信ポートの不要雑音です。上に述べたように、正確な測定結果を得るには、レシーバ雑音が DUT 雑音よりも小さくなる必要があります。したがって、

$$(F_D - 1) G_D N_0 > C (F_R - 1) N_0$$

という関係が得られます。実験係数 C の値は $1/10$ です。これは、DUT 雑音がレシーバ雑音より 10dB 低くても正確な測定結果を得られることを表しています。

計算を迅速に行うために、この関係式はさらに簡略化することができます。通常、 F_R の値は 1 よりはるかに大きく、一般的な DUT では $(F_D - 1)$ 項は約 1 です。これによって、次のような経験式が得られます。

$$F_R < 10 G_D$$

これを対数で表すと次のようになります。

$$NF_R < L_{G_D} + 10\text{dB}.$$

この不等式は、レシーバの雑音指数が DUT の利得より 10dB 高くても測定可能なことを示しています。以下ではこの関係を、「レシーバ雑音指数 (RNF) 条件」という言葉で表します。これは、レシーバ・セットアップを選ぶ際の基本的な関係です。

すでに述べたように、この RNF 条件は測定セットアップを選ぶための経験則ですが、ほとんどの測定セットアップの選択に適しています。必要に応じて、2 章に示すように、NF 誤差予測ツールを使用して測定誤差をより正確に解析することができます。ただし、決定手順は変わりません。

レシーバ・セットアップ・オプションとその決定手順を図 1 と図 2 に示します。

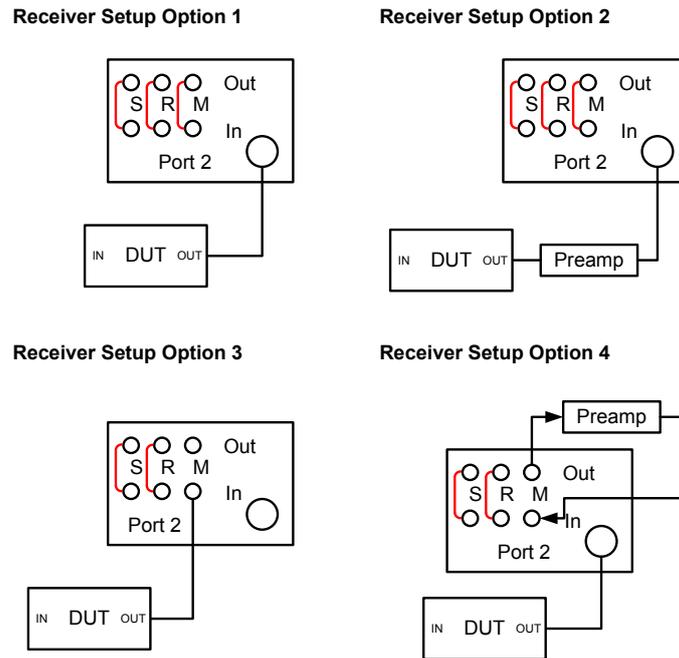


図1: レシーバ・セットアップ・オプション

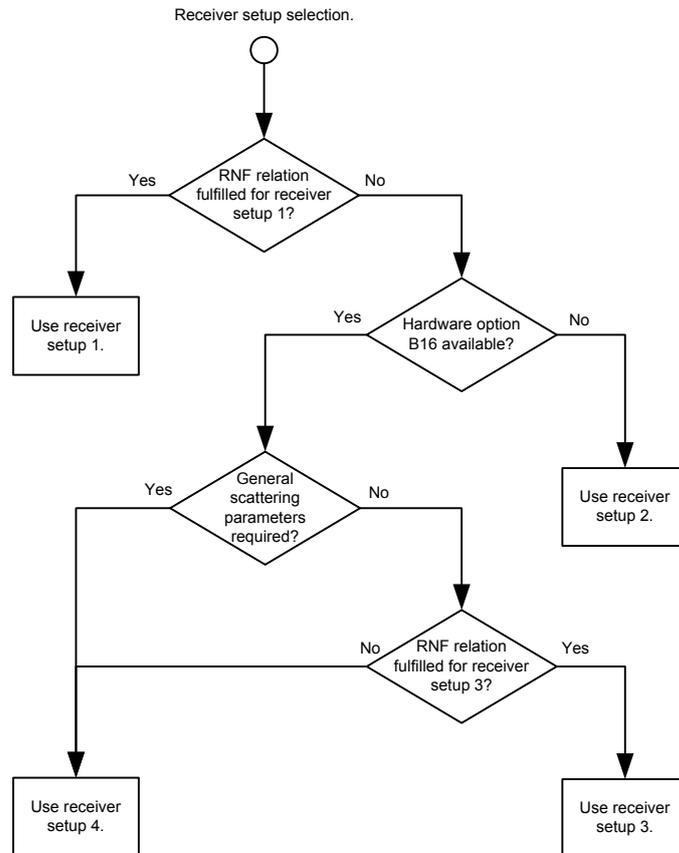


図2: レシーバ・セットアップの選択チャート

レシーバ・セットアップ・オプション 1 に示すように、DUT をレシーバ・ポートに直接接続するケースで RNF 条件がすでに成立している場合は、このセットアップを選択すべきです。この場合は、 NF_R の値は表 1 の「ポート」の値を選択します。

この条件を満たせない場合、ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプション R&S ZVAxy-B16 を使用できるかどうかによって、次の選択が異なります。このオプションを使用できない場合は、レシーバ・セットアップ・オプション 2 に示すようにプリアンプが必要になります。

R&S ZVAxy-B16 オプションが使用できる場合、同じセットアップで一般 S パラメータの測定（システム誤差補正後の利得と反射の測定）が必要になるかどうかによって、次の選択が異なります。測定が必要な場合はプリアンプも必要となり、プリアンプは、レシーバ・オプション 4 に示すように R&S ZVAxy-B16 の測定パスに接続しなければなりません。

システム誤差補正後の S パラメータ測定が必要なく、「B16」に対する NF_R 値について RNF 条件が満たされている場合は、レシーバ・セットアップ・オプション 3 を選ぶことができます。このセットアップの背景にある考え方は、DUT を直接測定レシーバに接続することで、方向性結合器による挿入損失を避け、レシーバ雑音指数を約 10dB 下げられるということです。しかし、それでも条件を満たすことができない場合は、プリアンプを使用するレシーバ・セットアップ・オプション 4 を使用する必要があります。

1.4.3 プリアンプの選択

プリアンプが必要な場合は、プリアンプと受信ポートの有効レシーバ雑音指数が RNF 条件を満たすことができるように、プリアンプの利得 G_{Pre} と雑音係数 F_{Pre} を選ぶ必要があります。有効レシーバ雑音指数は次式で計算されます。

$$F_{R,eff} = F_{Pre} + \frac{F_R - 1}{G_{Pre}}$$

関係をより単純化するために、さらに近似を行います。次のような仮定を行うと、

$$F_{R,eff} \approx \frac{F_R}{G_{Pre}}$$

プリアンプを使用した場合の RNF 条件は次のようになります。

$$\frac{F_R}{G_{Pre}} < 10G_D$$

または、

$$NF_R - L_{G_{Pre}} < L_{G_D} + 10\text{dB}.$$

1.4.4 減衰量の選択

ネットワーク・アナライザのソースパワーに対しては、内部ステップ・アッテネータまたは外部ステップ・アッテネータの使用を推奨します。内部電子式アッテネータを使用すると ([Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Power ...]) を選択)、信号源の雑音指数は大きくなります。したがって、信号源のベースパワーは通常 0dBm に設定します。

これにより、以下の条件を考慮しながら必要な減衰値（内部ステップ・アッテネータまたは外部アッテネータ）を決定することができます。

1. DUT の入力電力は、その 1dB 圧縮ポイント（または最大入力電力）より約 10dB 低くする必要があります。つまり、減衰値は

$$A_1 = 10 \frac{1\text{mW}}{P_{1\text{dB,DUT}}} \text{ よりも大きくなければなりません。}$$

1dB 圧縮ポイントを上の式に代入する時は、[W]値で代入してください。

2. プリアンプの入力電力は、その 1dB 圧縮ポイント（または最大入力電力）より約 10dB 低くする必要があります。したがって、レシーバ・セットアップ・オプション 2 における減衰値は

$$A_2 = 10 \frac{1\text{mW}}{P_{1\text{dB,pre}}} G_D$$

より大きく、レシーバ・セットアップ・オプション 4 では

$$A_2 = 100 \frac{1\text{mW}}{P_{1\text{dB,pre}}} G_D$$

より大きくなければなりません。

3. ネットワーク・アナライザの入力電力は、表 2 から得られる 1dB 圧縮ポイント（または最大入力電力）より約 10dB 低くする必要があります。したがって、レシーバ・セットアップ・オプション 1、3、および 4 における減衰値は

$$A_3 = 10 \frac{1\text{mW}}{P_{1\text{dB,ZVA}}} G_D$$

より大きくなければならず、レシーバ・セットアップ・オプション 2 では

$$A_3 = 10 \frac{1\text{mW}}{P_{1\text{dB,ZVA}}} G_D G_{\text{Pre}}$$

より大きくなければなりません。セットアップ・オプション 1、2、および 4 に対しては、「入力」列の「ポート」行から 1dB 圧縮ポイントを選択し、セットアップ・オプション 3 では「入力」列の「B16」行から選択します。

実際の測定のための減衰値 A_{DUT} は、減衰値 A_1 、 A_2 、 A_3 から最大の値を選ぶことによって得られます。減衰値の選択時は常に切り上げを行ってください。 A_{DUT} の添字 DUT は、DUT 測定時に使用する減衰値であることを示します。これは、特定の校正ステップにおける値とは異なる場合があります。

1.4.5 信号源のセットアップ

適切な信号源のセットアップは、信号源ポートに使用するハードウェア・オプションによって異なります。信号源のセットアップ・オプションとその対応図を図3と図4に示します。

内部ステップ・アッテネータを使用できる場合は、信号源セットアップ・オプション 1 に示すように内部アッテネータを使用します。セットアップにはできるだけ内部ステップ・アッテネータを使用することが望ましいです。これは、内部アッテネータが方向性結合器の前段に置かれているため、外部アッテネータ使用時のようにポートの方向性が損なわれないからです。DUT のマッチングを雑音指数と並行して測定する場合、これは特に重要です。

内部ステップ・アッテネータは使用できないが R&S ZVAXy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを使用できるという場合は、信号源セットアップ・オプション 2 に示すように、信号源パスに外部アッテネータを接続します。

その他すべてのケースでは、信号源セットアップ・オプション 3 に示すように DUT の前段に外部アッテネータを直接接続しますが、これは上記のオプションが使用できない場合に限ります。

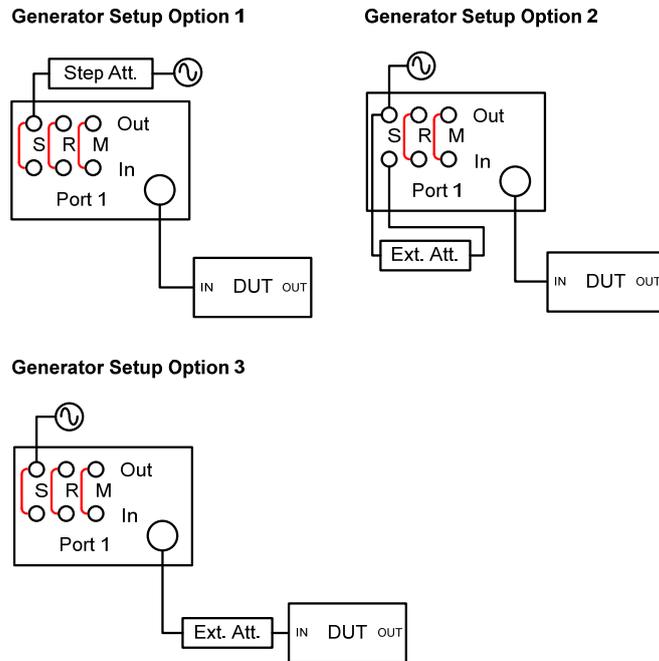


図3：信号源セットアップ・オプション

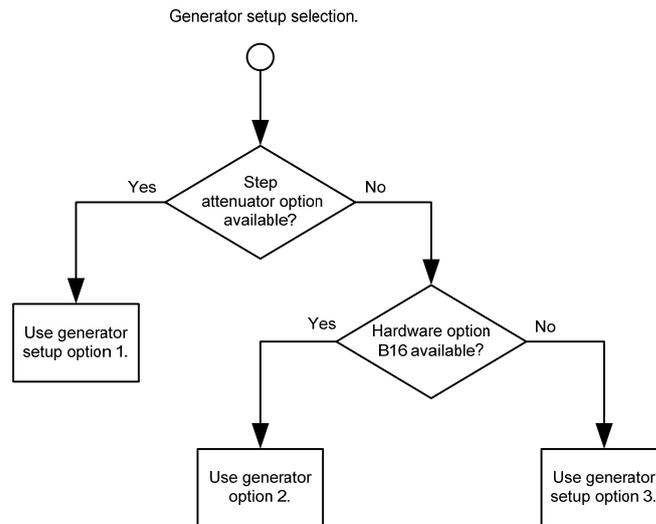
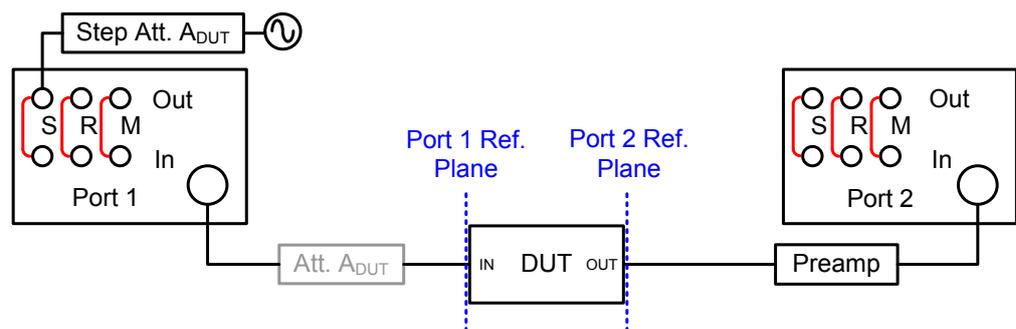


図4：信号源セットアップの選択チャート

1.5 一般的な雑音指数測定の設定手順

測定セットアップの決定後に R&S ZVA または R&S ZVT を使用して雑音指数測定を設定する場合も、基本的には同じパターンで行います。ただし、テスト・セットアップや使用できるオプションに応じて一部の手順が異なることもあります。この項では一般的手順の概要を示すとともに、セットアップ手順において考慮すべき一般的な事項について説明します。より具体的なセットアップの例とバリエーションについては、3章を参照してください。

以降の雑音測定設定の説明では、下の図に示すようにアッテネータとプリアンプを含む一般的な測定セットアップを使用します。



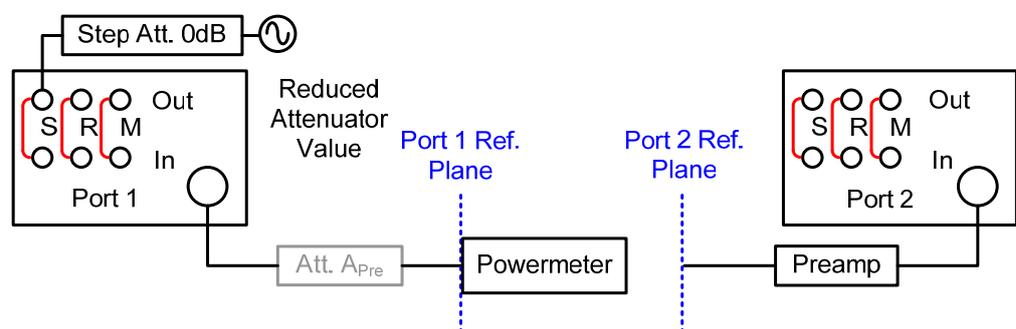
内部または外部アッテネータを使用できるかどうかは、1.4 項に述べたように、測定器のオプションと測定要件によって異なります。ただし、説明を簡略化するために、以下では内部アッテネータと外部アッテネータの両方を示します。あまり一般的ではありませんが、両方のアッテネータを同時に使用することも可能です。信号源とレシーバの基準面は、常に DUT の入力と出力にあるものとします。

1.5.1 ステップ 1：基本設定

周波数範囲やポイント数などの基本測定パラメータを設定します。1.4 項に述べたように、**[Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Power ...]**を選択して、チャンネルのベースパワーを 0dBm に設定します。

1.5.2 ステップ 2：ソースパワー校正

ソースパワー校正が必要になるのは、測定レシーバ校正の準備のためです。テスト・セットアップを下の図に示します。



パワー・センサは広帯域デバイスなので、パワー測定の確度はアナライザの信号源の広帯域雑音の影響を受けます。この影響は、信号レベルが低い場合に特に顕著です。最良の信号雑音比を得るには、ステップ・アッテネータを 0dB に設定して、ソースパワー校正時のポート出力パワーを 0dBm に設定する必要があります。

ただし、外部アッテネータをポートに接続して使用する場合は、このステップとその後の測定レシーバ校正ステップに、同じ外部アッテネータ値を使用する必要があります。異なる外部アッテネータ値を使用すると、測定レシーバ校正を正しく行うことができなくなります。この場合は経験則として、DUT の損失と利得の比に応じて減衰値を減らします。

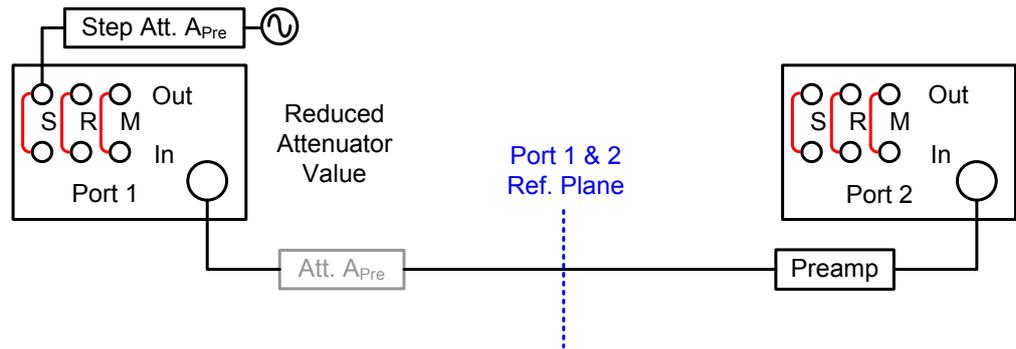
$$A_{Pre} = \frac{A_{DUT}}{G_{DUT}},$$

これは、パワー校正の段階では DUT が存在しないためです。

信号源ポートにパワー・センサを接続し、**[Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Source Power Cal]**を選択してソースパワー校正を行います。雑音指数測定に必要な校正は、各測定ポイントにおける正確な信号出力パワーを知るための基準レシーバ校正だけです。フラットな出力パワーは必要ありません。したがって、校正時間を短縮するために、**[Modify Settings ...]**メニューの「Flatness Cal」チェックボックスはオフにすることができます。

1.5.3 ステップ 3 : 測定レシーバ校正

レシーバ電力校正を行う際には、プリアンプでの圧縮（コンプレッション）を防ぐために内部ステップ・アッテネータの値 A_{Pre} を設定します。送信ポートと受信ポートを接続し、[Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Receiver Power Cal] を選択して、受信ポート上で測定レシーバ校正を行います。校正するためには受信ポートの「b」波を選択します。信号源には、前のステップで校正を行った信号源ポートを入力します。



1.5.4 ステップ 4 : 雑音指数測定の設定

[Channel] → [Mode] → [Noise Figure] [Meas] → [Define Noise Figure Meas ...] を選択して設定を行い、それを有効にします。ほとんどの場合はデフォルト設定をそのまま使用できます。デフォルト設定を受け入れるには[OK]をクリックしてください。以下では、選択可能な設定についてより詳しく説明します。

1.5.4.1 検波器の測定時間

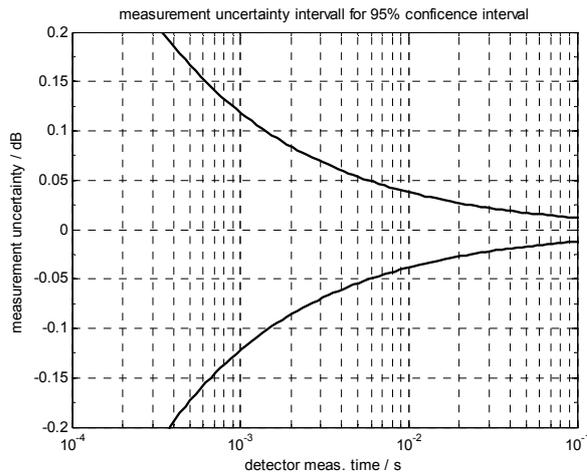
「Detector Meas Time」¹は、AVG 検波器および RMS 検波器に使用する式(1)と(2)のサンプル数 M を決定します。サンプル数 M と検波器測定時間 T_{Meas} の間の関係は次式で表されます。

$$M = T_{Meas} / T_{Sample}$$

ここで、 $T_{Sample} = 12.5 \text{ ns}$ はアナログ・デジタル変換のサンプル間隔です。

雑音はランダムなものなので測定した雑音パワーには変動が含まれており、これがトレースノイズを発生させます。検波器の測定時間が長くなるほど、トレースノイズは少なくなります。次に示す図は、検波器の測定時間に応じた雑音パワー測定値に対応するトレースノイズを示したものです。

¹ 「More Wave Quantites」ダイアログまたは「Define Noise Figure Measurement」ダイアログで入力でき、チャンネル固有の設定です。つまり、チャンネル内のすべてのトレースについて等しい値となります。



上の図の検波器測定時間を 40ms とすると、雑音パワーに対するトレースノイズは 0.02dB となります（95%信頼区間の場合）。トレースノイズが問題とならないのであれば、検波器の測定時間を 10ms あるいは 5ms などのより小さい値に減らすことができます。この場合は、測定速度がそれぞれ 4 倍あるいは 8 倍向上します。

1.5.4.2 同時モードとシーケンシャル・モード

1.1.2 項と 1.1.3 項に述べたように、AVG 検波器および RMS 検波器は、通常の利得測定用のキャリアが存在する場合であっても雑音パワーの測定に使用できます。この場合の雑音パワーは、AVG 検波器と RMS 検波器の差と、AVG 検波器で得られるキャリアパワーによって決まります。これは、正確に「同時」（Simultaneous）モードで行われます。この測定モードの利点は、雑音データと利得データが 1 回の測定ステップで得られることと、DUT の雑音特性が通常の動作条件の下で求まることです。

ただし、「同時」モードにはいくつかの制約もあります。その 1 つは、信号源がアクティブになっているときはその雑音が大きくなることです。さらに、キャリア振幅の変動や雑音を広帯域雑音から切り離すことができず、その結果、測定が不確かになる恐れがあります。さらに、通常は雑音パワーが信号パワーよりはるかに小さいので、レシーバのアナログ・デジタル・コンバータのダイナミックレンジや、検波器の結果を表すために使われる浮動小数フォーマットが、測定結果に影響を及ぼす可能性があります。

利得（キャリア）と雑音パワーを 2 つのステップに分けて測定すれば、上に述べた制約を解消することができます。この方法は「シーケンシャル」（Sequential）モードと呼ばれます。最初のステップでは通常の利得測定が行われます。2 つめのステップでは信号源のレベルを下げ、AVG 検波器と RMS 検波器の両方の値を使って雑音パワーだけを測定します。「同時」モードと比較すると測定時間は倍になります。しかし、精度が向上するので「シーケンシャル」モードを使用することが推奨されます。また、デフォルトもこのモードになっています。

1.5.4.3 理想信号源雑音に関する仮定

後出の 1.5.5.4 項に示すように、有効レシーバ雑音指数が信号源雑音指数よりはるかに大きい場合は、信号源雑音の測定に困難を伴うことが予想されます。この場合、信号源雑音指数として求められた値は不確かさを含むことになり、DUT の測定雑音指数にも誤差が生じます。たとえば信号源のアッテネータの値が大きいなどの理由で信号源雑音指数が非常に低いことが分かっている、DUT の雑音指数が小さ過ぎない場合は、信号源雑音指数が 0dB に等しいと仮定して、測

定雑音指数の誤差を小さくすることができます。

しかし、このような場合により正確な値を得るために推奨されるのは、プリアンプを使用してレシーバの雑音指数を小さくする方法です。これによって信号源雑音の値を決定できるので、DUTの正確な雑音指数が得られます。

1.5.5 ステップ 5 : 雑音指数校正

雑音指数システム・モデルの未知のパラメータ G_A 、 F_R 、 F_S は、雑音校正手順の実行時に決定します。これは、選択したセットアップに応じて、2つまたは3つの測定ステップからなります。ステップの実行順は任意です。メニューコマンド [Channel] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Noise Figure Cal ...] を選択して、校正ダイアログを開きます。校正ステップを実行するには、事前にいくつかの設定を行う必要があります。

1.5.5.1 信号源と外部アッテネータの設定

通常、信号源の雑音指数はレシーバの雑音指数よりはるかに小さくなります。信号源の雑音パワーがレシーバの雑音に比べて小さい場合は、信号源の雑音指数を正確に測定できません。この問題の解決策は、信号源雑音校正ステップで使用する減衰値 A_{Pre} を小さくすることです。ただし、測定時には A_{DUT} を減衰値として使用します。

信号源雑音指数の測定において述べた不確かさは、誤差予測ツールに含まれています。誤差予測に必要な信号源およびレシーバの雑音指数の実際の値は、校正ステップ中にダイアグラムエリアに表示されます。

内部ステップ・アッテネータを使用できる場合は、 A_{Pre} の値を「Gen Atten for Src NCal」フィールドに、 A_{DUT} の値を「Gen Atten for DUT Meas」フィールドに入力します。これによって、校正ステップ中に、R&S ZVAB-K30 オプションが自動的に正しい内部ステップ・アッテネータの値を設定します。外部アッテネータを使用する場合は、「Additional External Attenuator」チェックボックスをオンにします。これによってファームウェアは、アッテネータの校正ステップに入る前にユーザによる操作が必要であることを認識します。校正ステップ時には、以下の説明に従って適切な値のアッテネータを接続してください。特殊なケースでは、必要に応じて外部アッテネータを内部ステップ・アッテネータに接続することも可能です。

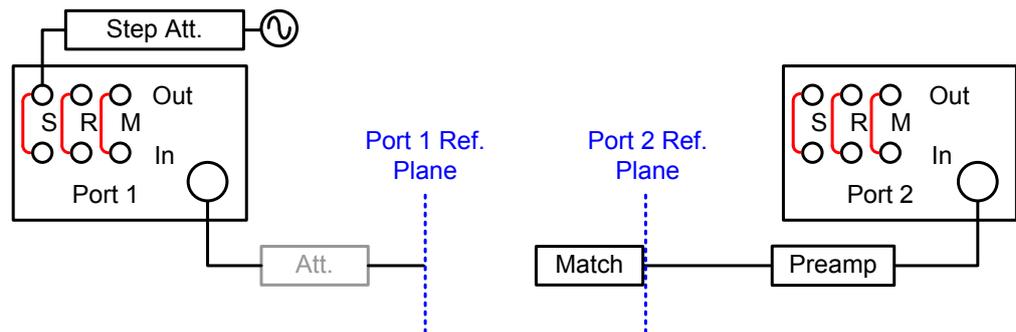
1.5.5.2 IF 利得の設定

「Noise Figure Calibration」ダイアログの IF 利得設定には、[Channel] → [Mode] → [Port Config ...] を選択し、[Displayed Columns ...] ボタンを使用してアクセスすることもできますが、ほとんどの場合はデフォルト値のまま使用できます。

IF 利得設定は、IF 信号のダイナミックレンジを調整するために、アナログ・デジタル・コンバータの前段にある内蔵アンプのオン/オフを決定します。基準レシーバの「IF Gain a」のデフォルト値は「Low Dist」です。これはアンプをオフにし、入力パワーを上げた際に圧縮領域に入ることを避けることができます。この設定は、信号源セットアップ・オプション 1（内部ステップ・アッテネータを使用）または 2（信号源パスに外部アッテネータを使用）において 40dB を超える大きな減衰値を使用した場合に限り、トレースノイズを減らすために「low noise」に変更する必要があります。

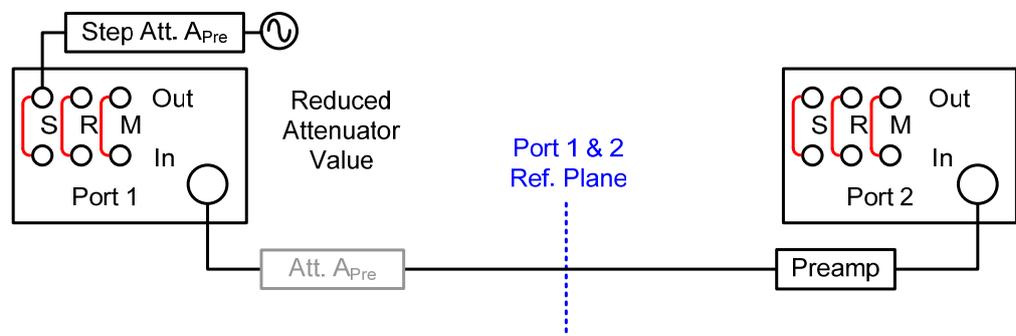
測定レシーバの「IF Gain b」には、「Low Noise」設定がデフォルトで選択されています。これはアンプをオンにして、レシーバの雑音指数を小さくします。この設定は、レシーバ・セットアップ・オプション 3（レシーバ・パスへの直接接続）においてレシーバのポート入力パワーが 0dBm または -10dBm より大きい場合に限り、「low distortion」に変更する必要があります。

1.5.5.3 レシーバの雑音校正



受信ポート自体によって生じる雑音は、50Ω マッチを受信ポートに接続して行うレシーバ雑音校正の際に求められます。絶対パワーを測定することによって、ネットワーク・アナライザはレシーバの雑音係数 F_R を直接計算します。校正ステップが終了すると、校正ダイアログのダイアグラムエリアにレシーバの雑音指数が表示されます。

1.5.5.4 信号源の雑音校正

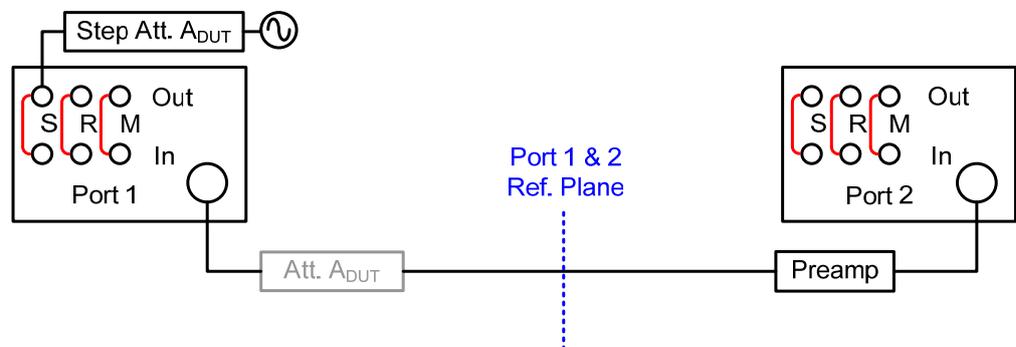


DUT の雑音指数を正確に計算するには、DUT に加わる雑音パワーを知る必要があります。これは信号源雑音係数 F_S で表され、信号源ポートを DUT なしで受信ポートに接続することによって測定されます。外部アッテネータを使用する場合は、この校正ステップに減衰値 A_{Pre} を使用します。

アプリケーション・ヒント：通常、信号源雑音校正ステップとレシーバ電力校正ステップのセットアップは同じなので、レシーバ電力校正の後にそのまま信号源雑音校正を行えば、セットアップの手間を省くことができます。

信号源の雑音指数を計算するには、レシーバの雑音指数があらかじめ分かっている必要があります。したがって、信号源の雑音校正の前にレシーバの雑音校正が行われていれば、ダイアグラムエリアに信号源雑音が表示されます。レシーバの雑音校正を行っていない場合は、システム雑音指数 N_R / N_0 が表示されます。

1.5.5.5 アッテネータの校正



実際の測定時よりも低い減衰値で信号源雑音校正を行った場合、DUT の入力ポートにおける雑音パワーを正確に計算するには、減衰値の差が分かっている必要があります。この減衰値の差は、アッテネータの校正ステップの際に測定されます。内部ステップ・アッテネータを使用する場合、校正ステップは、信号源雑音校正に続く次の掃引で直接行われます。外部アッテネータを使用する場合はユーザによる操作が必要で、校正ステップは個別に行われます。アッテネータの校正が終了すると、測定された外部アッテネータ値の差がダイアグラムエリアに表示されます。

最後の雑音校正ステップが終了したら、[Apply] ボタンをクリックしてダイアログを閉じます。

1.5.6 ステップ 6 : 雑音指数トレースを有効にする

[Trace] → [Measure] → [Noise Figure ...] を選択して、雑音指数トレースを有効にします。

トレースをより安定したものとし、1.8 項に述べる干渉のようなスプリアスの影響を軽減するために、5% のアパーチャを使用したトレース・スムージングが自動的に有効になります。トレース・スムージングはビデオ帯域幅 (VBW) に相当するもので、スペクトラム・アナライザや雑音指数アナライザにおける雑音測定にはデフォルトで適用されます。

[Adjust Channel Settings to Noise Cal] チェックボックスは、たとえば校正マネージャの校正プールから雑音校正をロードした時などのように、雑音校正手順の後でチャンネル設定が変更された場合に便利です。このチェックボックスをオンにすると、雑音校正を行う際に、現在の設定に合わせてチャンネル設定が調整されます。

パワー校正と雑音校正の有効性は、「PCal」および「NCal」という記号を使ってトレース・リスト・エリアに表示されます。

1.6 雑音校正の有効性

雑音指数の校正ならびに測定は、システムの雑音特性と利得特性の変化に敏感です。以下のリストの設定項目は、雑音校正の有効性に影響を及ぼし、ひいては雑音指数測定の確度にも影響を与えます。

- 周波数範囲
- ステップ・アッテネータの値
- 雑音測定モード（「同時」または「シーケンシャル」）
- IF 利得
- パワー校正
- フィルタの帯域幅または選択性
- コネクタ・ラインのインピーダンス
- 検波器の測定時間
- チャンネルのベースパワーまたはオフセット・パワー
- 低位相雑音モード

ここにリストしたすべての項目についてその値が校正時と実際の測定時で異なると、雑音校正に問題がある場合や雑音校正が無効な場合は、「NCal?」または「Nal Inv」という記号によってそのことが示されます。

1.7 雑音指数測定における制約

R&S ZVA ネットワーク・アナライザを使用して雑音指数測定を行う場合は、いくつかの測定限界条件に留意する必要があります。

1.7.1 低周波での検討事項

マイクロ波ネットワーク・アナライザ (>8GHz) を使用して 700MHz 未満で雑音指数測定を行う場合は、次のことを考慮する必要があります。低周波数では方向性結合器の結合係数が増大するため、700MHz 未満ではレシーバの雑音指数も増大します。したがって、このような低周波数域で雑音指数測定を行う場合は、R&S ZVAxy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを使用して、マイクロ波方向性結合器をバイパスすることを推奨します。

1.7.2 狭帯域 DUT

1.1.3 項に述べたダブル・サイドバンド・ミキシングの考え方により、式(2)で係数「2」を適用するのが有効なのは、2つのサイドバンド（その間隔が中間周波数の2倍であるもの）における雑音パワーが等しい場合に限られます。したがって、50MHz より狭い帯域幅で測定された DUT の雑音指数には誤差が含まれます。

1.7.3 高周波での検討事項

24GHz を超える周波数帯での測定では、R&S ZVA は高調波ミキシングという概念を使用します。雑音指数測定においては、これはミキサの基本周波数帯と高次周波数帯の雑音が共に同じ中間周波数に変換され、区別できなくなることを意味します。解決策としては、カットオフ周波数が 20GHz のハイパス・フィルタを使用するか、妥当な場合は適切なバンドパス・フィルタを使用することが推奨されます。

1.8 一般的な落とし穴

1.8.1 外部信号による干渉

雑音信号は非常に小さいので、雑音指数測定は、モバイル通信ネットワークやその他の外部信号からの干渉に非常に敏感です。この干渉信号は、雑音指数トレースに再現性のないスパイクを発生させます。高精度の雑音指数測定を行うには、遮蔽された部屋やチャンパーの中で測定を行うことを推奨します。

1.8.2 圧縮の影響

セットアップのいずれかの部分に圧縮（コンプレッション）が生じると、雑音指数に悪影響を及ぼします。このような状態を検出するための簡単なチェック方法は、[Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Power ...]を選択して、チャンネルのベースパワーを-10dBm に減らすことです。これにより、雑音指数トレースのわずかな変化だけを観測できるようになるはずですが。

1.8.3 DUT の入出力マッチング

正確な雑音指数測定を行うには、DUT の入出力反射を 10dB よりも小さくする必要があります。雑音指数トレースに大きいリップルが生じる場合は、通常の S パラメータ測定で DUT のマッチングをチェックしてください。測定セットアップは異なるものになることがあります。

DUT のマッチングが妥当でない場合は 3dB~10dB のアッテネータを使用し、1.3 項に示すセットアップ・オプション 8 によってマッチングを改善します。

1.9 S パラメータの同時測定

前の項に述べたように、一定の測定セットアップにおいては、利得や入出力反射特性などといった DUT の複数の S パラメータを同時に測定することができます。しかし、雑音指数測定に必要な 5MHz の IF 帯域幅は S パラメータ測定には広過ぎるため、結果としてトレースノイズが大きくなり、校正精度も低下します。

この問題の解決策は、S パラメータの測定用に個別のチャンネルを設定することです。上に述べた要領で雑音指数測定の構成を行ったら、以下の手順に従って新しいチャンネルを設定します。

- ▶ DUT を取り外します。

- ▶ [Channel]→[Channel Select]→[Add Channel + Trace]を選択して、新しいチャンネルを作成します。
- ▶ a波とb波のIF利得を「Auto」に設定します。
- ▶ [Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Meas Bandwidth]を選択して、IFの帯域幅を1kHz以下に設定します。
- ▶ [Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Power ...]を選択してベースパワーを調整し、[Channel]→[Power Bandwidth Average]→[Meas Bandwidth]で内部ステップ・アッテネータをセットアップに応じて調整します。必要であれば**プリアンプの使用を検討**してください。
アプリケーション・ヒント：ステップ・アッテネータの設定がSパラメータ・チャンネルと雑音指数チャンネルで異なる場合は、測定時に切り替えを行います。
- ▶ 測定したいSパラメータを選択します。
- ▶ [Channel]→[Calibration]→[Start Cal]を選択して、校正を行います。
- ▶ DUTを接続して測定を行います。

2 測定の不確かさ

雑音指数測定における不確かさの計算は 13 個の入力値に基づいて行われますが、これらの入力値は 5 つのグループに分類されます：

1. 信号源パラメータ
 - a. アナライザの信号源マッチング
 - b. 信号源雑音指数
 - c. 信号源アッテネータ
2. DUT パラメータ
 - a. 雑音指数
 - b. 利得
 - c. アイソレーション
 - d. 入力反射測定
 - e. 出力反射特性
3. レシーバ・パラメータ
 - a. アナライザのレシーバ・マッチング
 - b. レシーバ雑音指数
4. パワー・センサパラメータ
 - a. パワー・センサのマッチング
 - b. パワー・センサの確度
5. 測定温度

それぞれのパラメータのグループには対応する入力値が含まれており、全体の RMS 誤差を計算するためには、これらの各入力値が測定結果に及ぼす不確かさの絶対値を考慮しなければなりません。RMS 誤差は真の値を中心とする許容差範囲であって、測定結果の確率が 95%となる区間を示します。



アプリケーション・ヒント：校正や測定にノイズ・ソースを使用する場合は、その許容誤差範囲 ($\pm 0.2\text{dB}$) を考慮する必要があります。

2.1 誤差の予測

セットアップを選択したら、NF 誤差予測ツール・ソフトウェアを使用して、測定の不確かさとそれに対応するセットアップの選択を検証することができます。この予測ツールは、ローデ・シュワルツの製品およびアプリケーションのホームページからダウンロードできます。

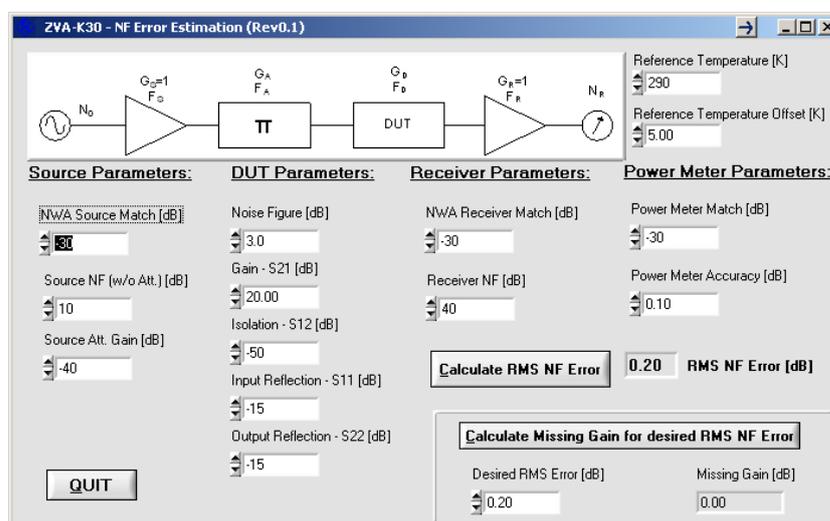


図5：NF 誤差予測ツール

ほとんどのパラメータについては、あらかじめ標準値が入力されています。通常、選択したセットアップに対して調整する必要があるのは以下のパラメータだけです：

1. DUT パラメータのグループで一般的な DUT パラメータを入力します。
2. 「Source Att. Gain [dB]」を調整して、測定時に使用する減衰値にします。
3. 「Receiver NF [dB]」を調整して表 1 と表 2 から得られる値にします。

「Calculate RMS NF Error」をクリックすると、標準的な雑音指数誤差が計算されます。

計算した誤差が測定要求確度を満たさない場合は、プリアンプの不足利得を計算することができます。したがって、「Desired RMS Error [dB]」を定め、「Calculate Missing Gain for Desired RMS NF Error」をクリックします。計算は他の設定を考慮して行われ、要求される測定確度を満たすためにプリアンプの利得がどれだけ不足しているかを算出します。クロスチェックとして、計算値を使用し、前に使用したレシーバ雑音指数からその値を減らすことができます。RMS 誤差を再計算した場合、その結果は所望の誤差範囲内のはずです。

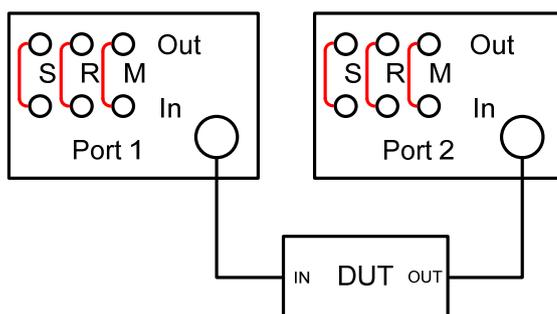
アプリケーション・ヒント：プリアンプの利得と、アナライザのレシーバ雑音指数は 1 対 1 の関係と近似でき、利得が増えた分レシーバ雑音指数は減少します。

2.2 測定の誤差の検証例

この項では、さまざまなセットアップにおけるデバイスの測定の不確かさについて説明します。1GHz~3GHzの周波数帯に対して雑音指数が3dB~4dBのDUTを、内部ステップ・アッテネータを使用したダイレクト・レシーバ・アクセスのR&S ZVA40で測定します。

a) 「基本セットアップ」による雑音指数測定

NF_{DUT} 約 3.5dB
 $NF_{Receiver}$ 約 35dB

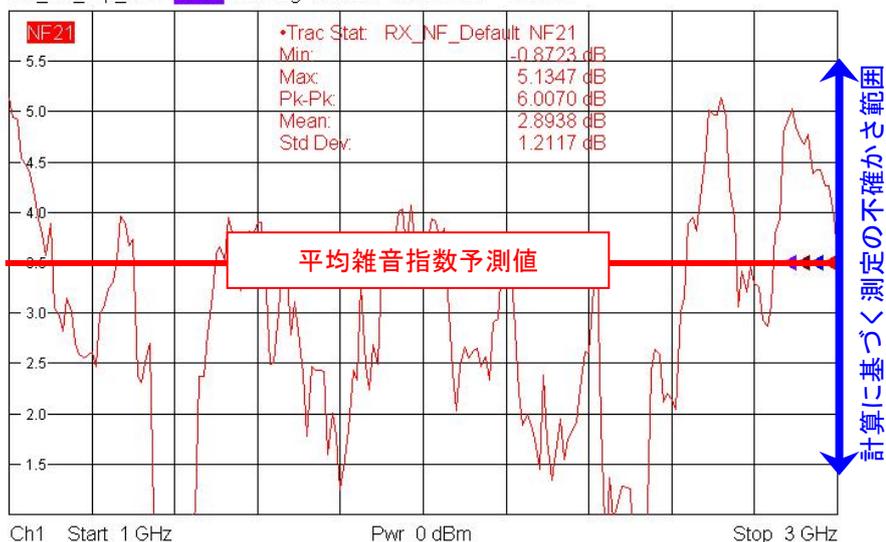


1) 不確かさの計算

→ 計算された RMS 雑音指数誤差 : 2.14dB

2) 雑音指数の測定

RX_NF_Imp_16...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	1
RX_NF_Default...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Smo	
RX_NF_Imp_6d...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	
RX_NF_Imp_10...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	



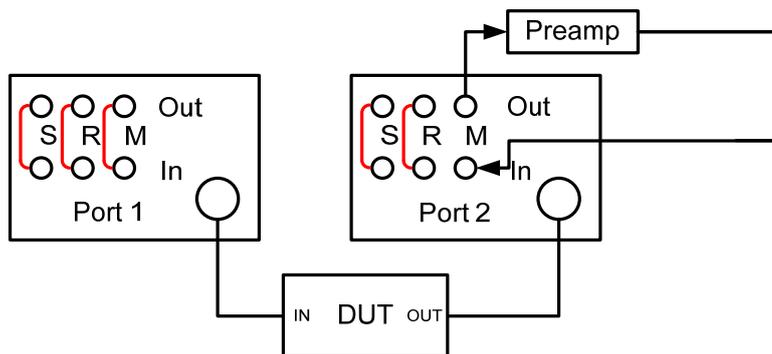
測定結果が一見して疑わしい値に見えたとしても、前回の予測測定誤差である 2.14dB を基準とすれば依然として妥当な範囲内にあります。

b) レシーバ雑音指数を 6dB 改善した場合の雑音指数測定

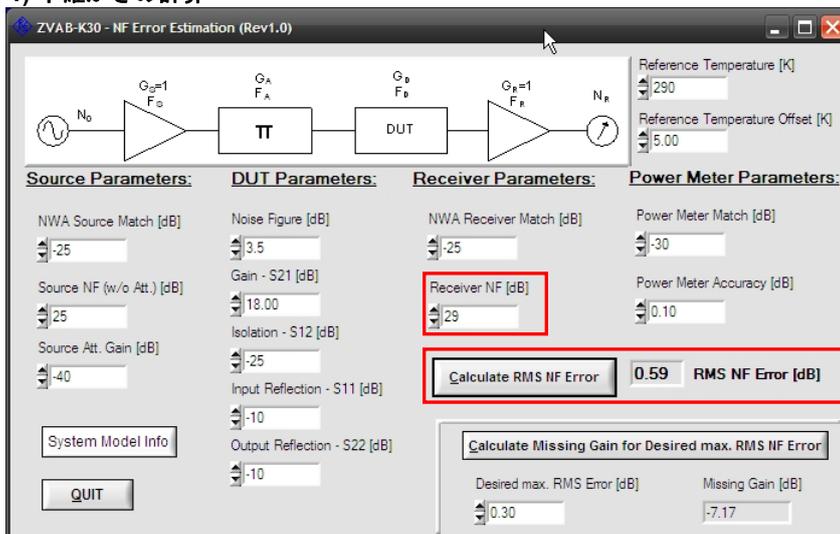
NF_{DUT} 約 3.5dB

$NF_{Receiver}$ 約 29dB

コメント： レシーバ雑音指数は、R&S ZVAxy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションの測定レシーバ・ループに、6dB のプリアンプを挿入することによって改善されます。

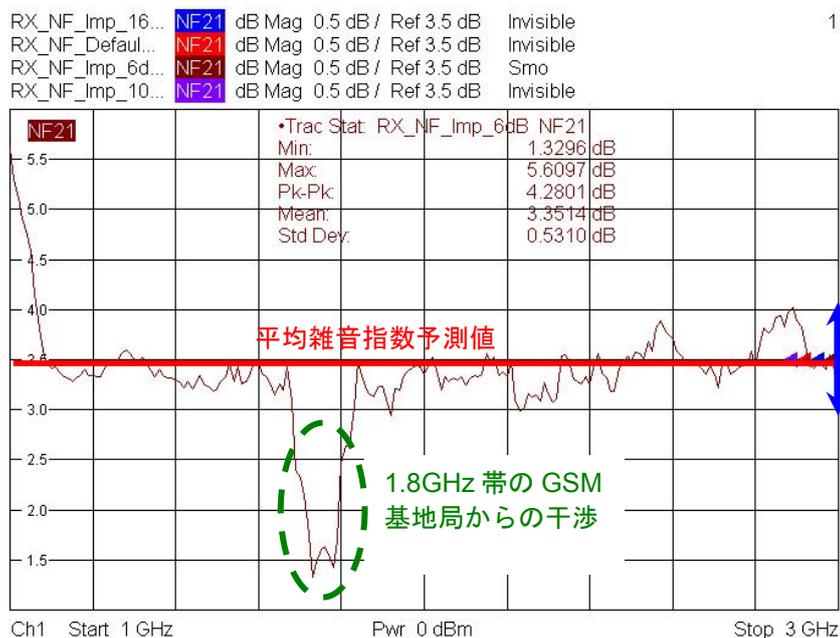


1) 不確かさの計算



→ 計算された RMS 雑音指数誤差 : 0.59dB

2) 雑音指数の測定



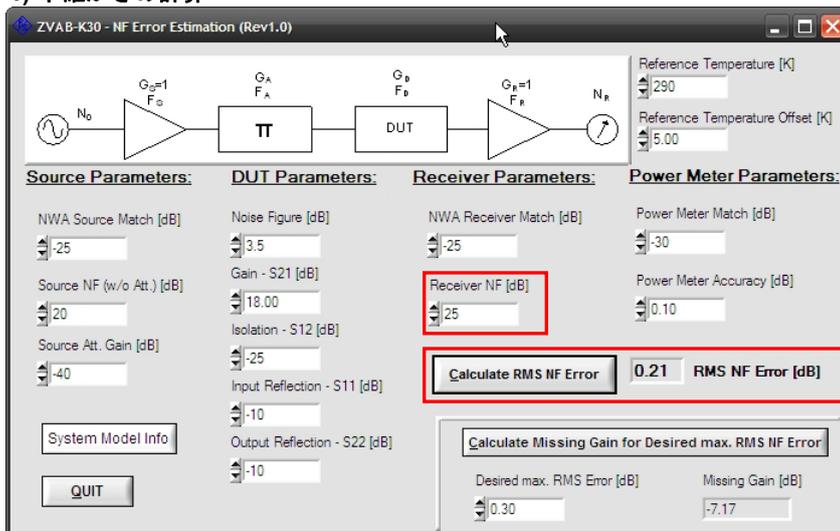
c) レシーバ雑音指数を 10dB 改善した場合の雑音指数測定

NF_{DUT} 約 3.5dB

NF_{Receiver} 約 25dB

コメント : レシーバ雑音指数は、R&S ZVAXy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションの測定レシーバ・ループに、10dB のプリアンプを挿入することによって改善されます。

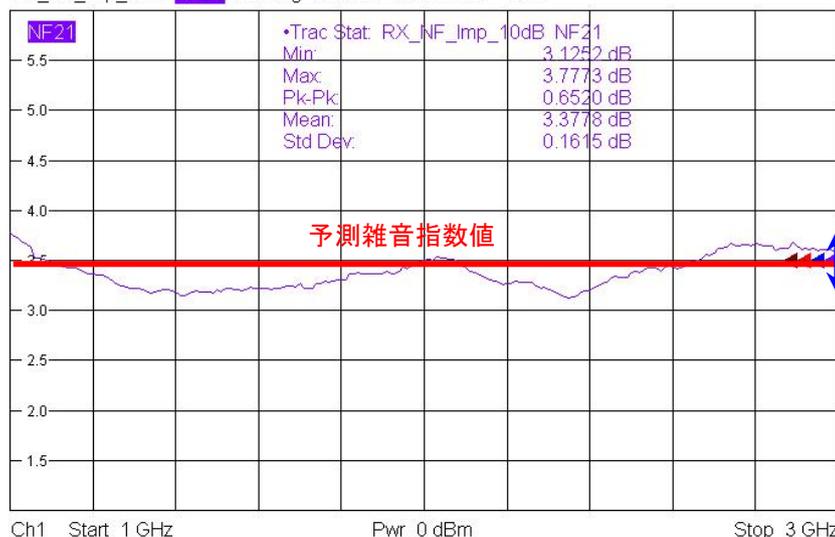
1) 不確かさの計算



→ 計算された RMS 雑音指数誤差 : 0.21dB

2) 雑音指数の測定

RX_NF_Imp_16...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	1
RX_NF_Default...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	
RX_NF_Imp_6d...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	
RX_NF_Imp_10...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Smo	

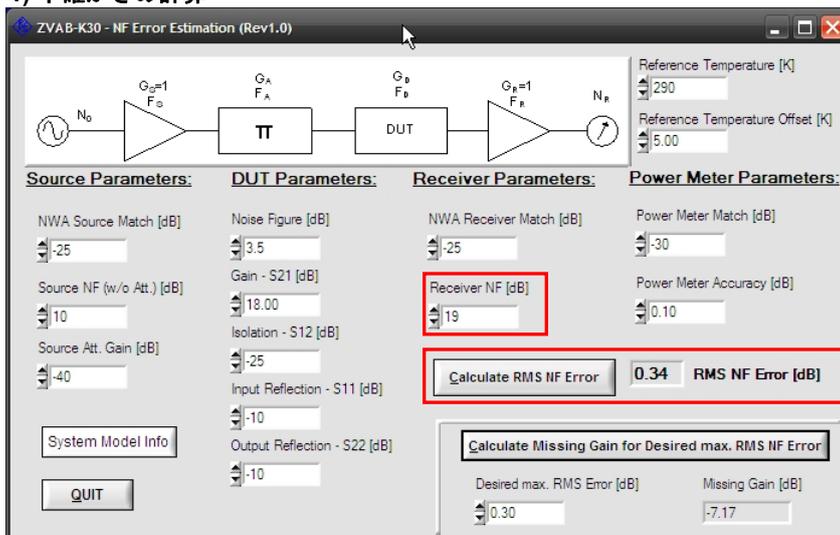


d) レシーバ雑音指数を 16dB 改善した場合の雑音指数測定

NF_{DUT} 約 3.5dB
 NF_{Receiver} 約 19dB

コメント : レシーバ雑音指数は、R&S ZVAXy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションの測定レシーバ・ループに、16dB のプリアンプを挿入することによって改善されます。

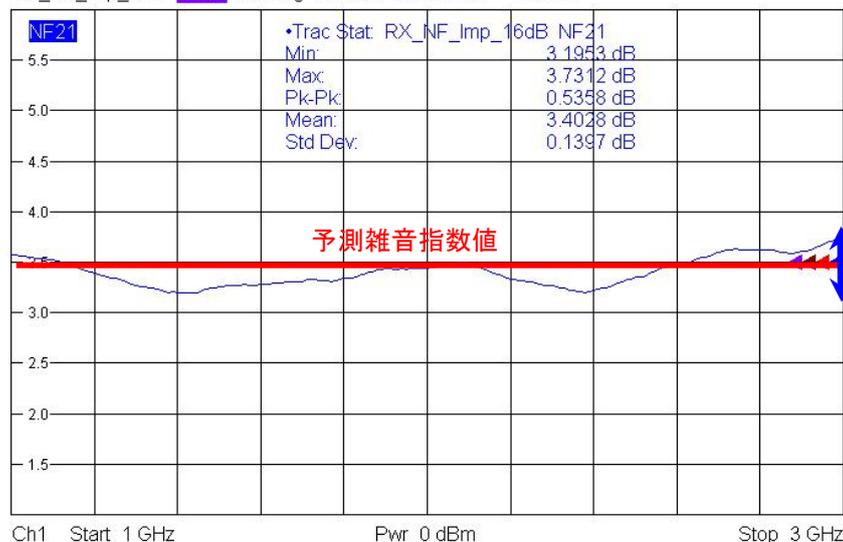
1) 不確かさの計算



→ 計算された RMS 雑音指数誤差 : 0.34dB

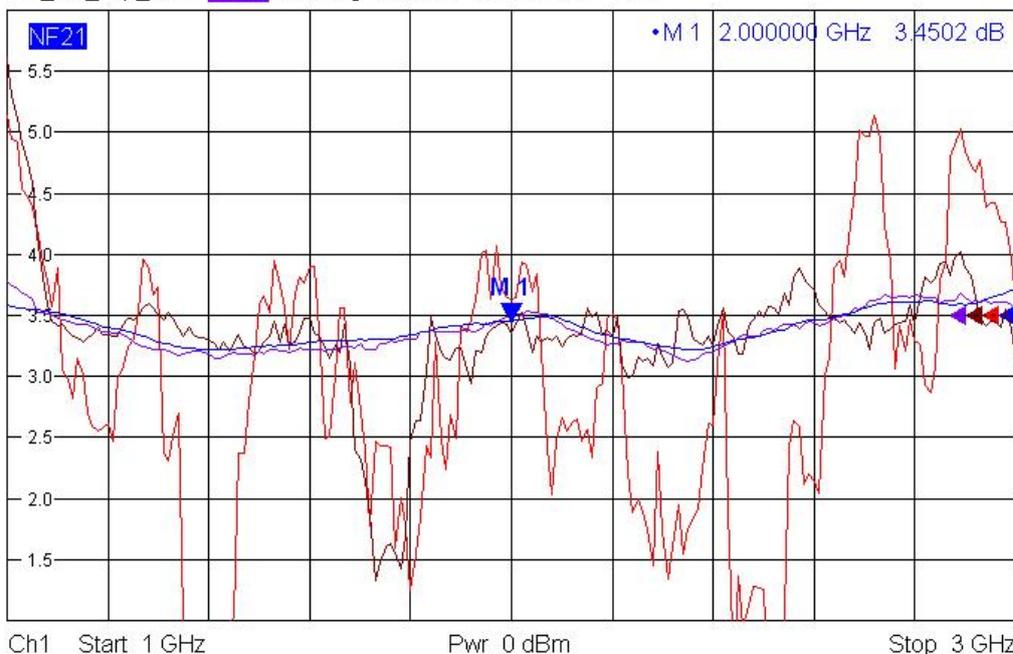
2) 雑音指数の測定

RX_NF_Imp_16...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	NCal PCal Smo	1
RX_NF_Default...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	
RX_NF_Imp_6d...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	
RX_NF_Imp_10...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Invisible	

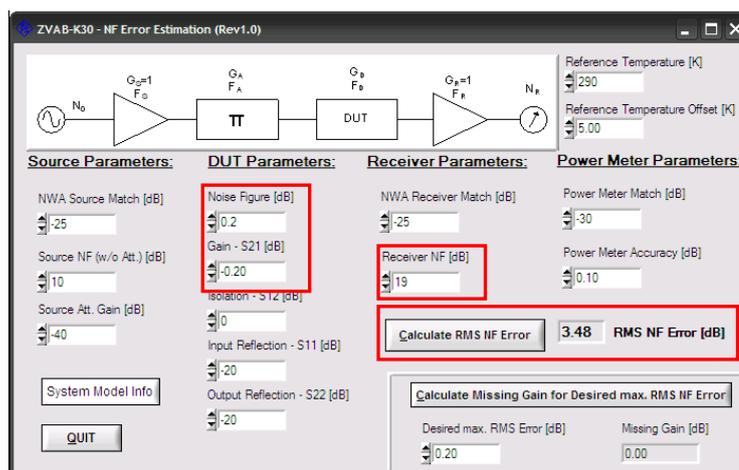


e) レシーバ雑音指数による、DUT 雑音指数測定結果の比較

RX_NF_Imp_16...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	NCal PCal Smo	1
RX_NF_Default...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Smo	
RX_NF_Imp_6d...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Smo	
RX_NF_Imp_10...	NF21	dB Mag	0.5 dB / Ref 3.5 dB	Smo	



アプリケーション・ヒント：例えば、損失と雑音指数がそれぞれ <0.2dB である単純なスルー・アダプタの雑音指数を測定したい場合は、同じようにして測定誤差を計算することができます。



実際には、スルー・アダプタおよび例 d)で示した R&S ZVA レシーバ雑音指数から計算される予測雑音指数値は、測定セットアップの不確かさのため 0dB 近傍では直線にはなりません。

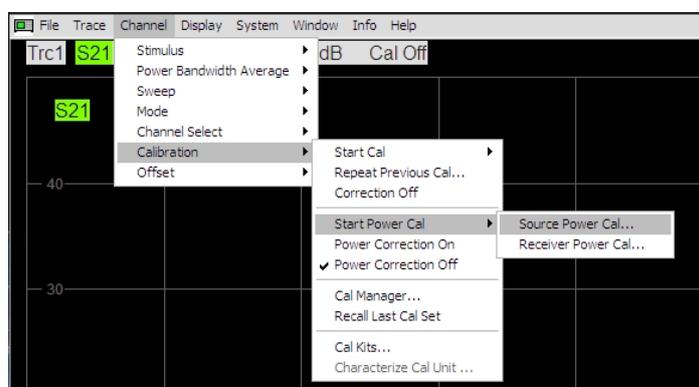
3 測定例

この章では、さまざまな設定やデバイスにおける測定方法を説明します。必要な設定と構成はスクリーンショットで示します。

特に断りのない限り、すべての測定は 4 ポートの R&S ZVA40 をダイレクト・レシーバ・アクセス（オプション R&S ZVA40-B16）とし、信号源パスとレシーバ・パスにステップ・アッテネータを使用する（オプション R&S ZVA40-B2x/B3x）ものとします。パワー校正には、パッシブ USB アダプタ（R&S NRP-Z4）と熱電対パワー・センサ R&S NRP-Z55 を使用しました。

ここでは、アナライザのメニューの選択を分かりやすく表すために、たとえばソースパワー校正メニューを選択する場合は次のように表記します。

▶ [Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Source Power Cal ...]



さらにボタンをクリックする必要がある場合も、次の例に示すように、そのボタンを大カッコ ([]) で囲んで同じように表記します。

▶ [Modify Settings...]

ここでは、下記のデバイスを使用して代表的な測定を行います。

1. Mini-Circuit 社製アンプ ZJL-3G+
 - a) 内部ステップ・アッテネータを使用し、R&S ZVA40 で測定した場合
 - b) オプションを使用せず、R&S ZVA8 で測定した場合
2. Infineon LNA BFP740F（DAB-L、GPS-L1、および PCS アプリケーション用）
3. Mini-Circuit 社製アンプの生産ライン向けパラレル測定

3.1 Mini-Circuit 社製アンプ ZJL-3G+

3.1.1 DUT

データシート：<http://www.minicircuits.com/pdfs/ZJL-3G+.pdf>

特性：

- 広帯域アンプ：20～3000MHz
- 利得（代表値）：19dB
- 利得フラットネス（代表値）：±2.2 dB
- 雑音指数（代表値）：3.8dB

3.1.2 測定セットアップ a) - 内部ステップ・アッテネータを使用し、R&S ZVA40 で測定した場合

3.1.2.1 セットアップの選択

最初のステップとして、R&S ZVA40 の特性を表 1 と表 2 から選びます。レシーバ雑音指数は約 35dB で、1dB 圧縮ポイントは約 3dBm です。

2 つめのステップはレシーバ設定の選択です。ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションは使用できないので、残された選択肢はプリアンプが必要かどうかです。DUT の利得は約 20dB なので、レシーバ雑音指数 (RNF) 条件式は次のようになります。

$$35\text{dB} < 20\text{dB} + 10\text{dB} = 30\text{dB}$$

すでに述べたように RNF 条件はその限界にあります。プリアンプなしでの測定は依然として可能です。したがって、以下ではレシーバ・セットアップ・オプション 1 を使用します。

次のステップは、適切な減衰値を選ぶことです。R&S ZVA40 の 1dB 圧縮ポイントは 3dB なので、前の例と異なり、この例における減衰値は圧縮の影響を防ぐために 30dB でなければなりません。ソースパワーが 0dBm の時、電力レベルは DUT の入力において -30dBm、レシーバ入力において -11dBm です。いずれの場合も、パワーレベルは DUT の 1dB 圧縮ポイント -10dBm や、アナライザの 1dB 圧縮ポイント 3dBm より十分に低くなります。

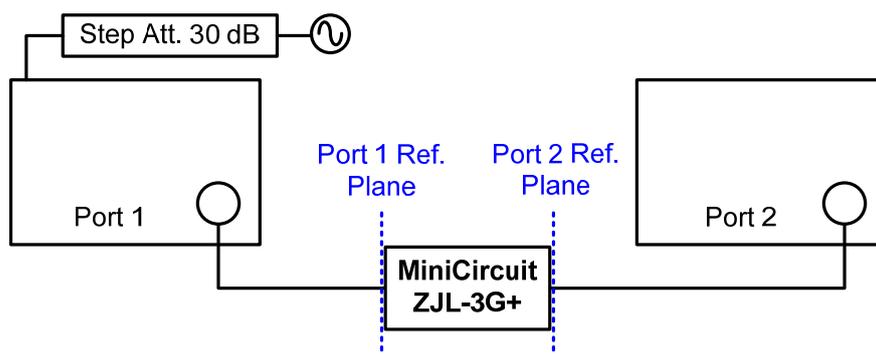
信号源セットアップではステップ・アッテネータ・オプションを使用できるので、信号源セットアップ・オプション 2 ではこれを使用します。最終的なセットアップを下の図に示します。

選択したセットアップは NF 誤差予測ツールを使用してチェックすることができ、選択したセットアップに対して得られる測定の不確かさは 0.4dB です。

The screenshot shows the 'ZVAB-K30 - NF Error Estimation (Rev1.0)' software interface. At the top, a block diagram illustrates the measurement setup: a noise source N_0 is connected to a source attenuator with gain $G_s=1$ and loss F_{s0} . This is followed by the Device Under Test (DUT) with gain G_A and loss F_A . The output of the DUT goes through a receiver attenuator with gain $G_r=1$ and loss F_r , and is finally measured by a receiver N_R . Below the diagram, the software is divided into four main parameter sections:

- Source Parameters:** NWA Source Match [dB] (-30), Source NF (w/o Att.) [dB] (10), Source Att. Gain [dB] (-30).
- DUT Parameters:** Noise Figure [dB] (3.8), Gain - S21 [dB] (19.00), Isolation - S12 [dB] (-50), Input Reflection - S11 [dB] (-15), Output Reflection - S22 [dB] (-15).
- Receiver Parameters:** NWA Receiver Match [dB] (-30), Receiver NF [dB] (35).
- Power Meter Parameters:** Power Meter Match [dB] (-30), Power Meter Accuracy [dB] (0.10), RMS NF Error [dB] (0.41).

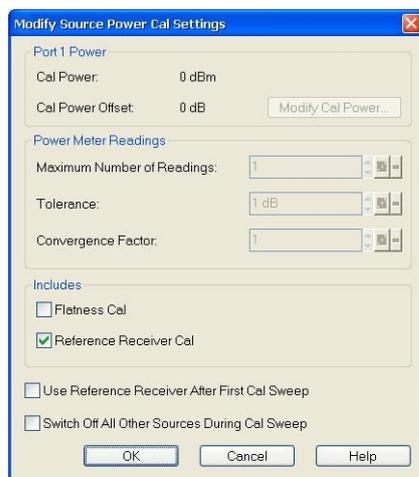
Buttons for 'Calculate RMS NF Error' and 'Calculate Missing Gain for Desired max. RMS NF Error' are also visible. The 'Calculate Missing Gain' section shows a 'Desired max. RMS Error [dB]' of 0.20 and a 'Missing Gain [dB]' of 0.00.



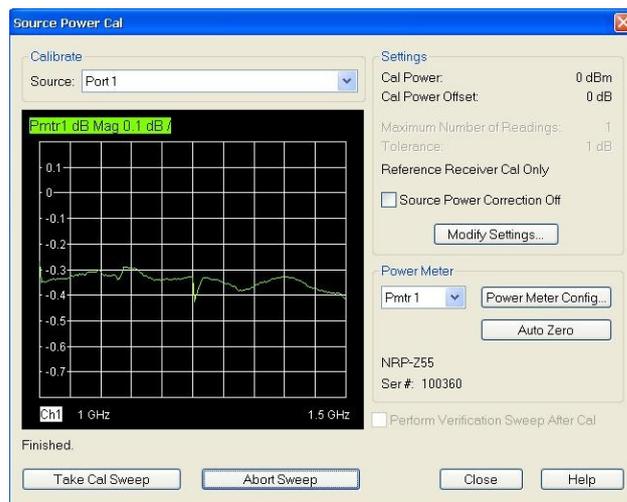
周波数範囲 : 1~1.5GHz
 ポイント数 : 201
 パワー : 0dBm
 測定ポイント : DUT 入力@ポート 1
 DUT 出力@ポート 2

3.1.2.2 ステップ 1 : ソースパワー校正

- ▶ ポート 1 の基準面にパワー・センサを接続します。
- ▶ [Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Source Power Cal ...]
- ▶ [Modify Settings...]



- ⇒ 基準レシーバの校正のみで十分です。
- ▶ [Take Cal Sweep]



- ▶ **[Take Cal Sweep]**
- ⇒ 校正後のパワー曲線がフラットでスムーズである必要はありません。正しいパワーレベルを示すことが重要です。
- ⇒ たとえば-30dBm といった低いパワーレベルでパワー校正を行うと、後で行う雑音指数測定の確度が低下する恐れがあります。これは、低パワーレベルにおいてはパワー・センサの確度が下がることによります。パワー校正時の推奨パワーレベルは 0dBm です。

3.1.2.3 ステップ 2 : 測定レシーバ校正

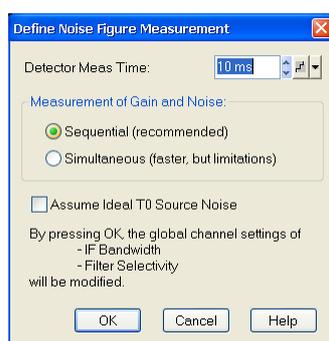
- ▶ ポート 1 とポート 2 の基準面を直接接続します。
- ▶ **[CHANNEL] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Receiver Power Cal ...]**



- ▶ Wave quantity b2 を選択し、信号源ポートにポート 1 を選択します。
- ▶ **[Take Cal Sweep]**

3.1.2.4 ステップ 3 : 雑音指数測定の設定

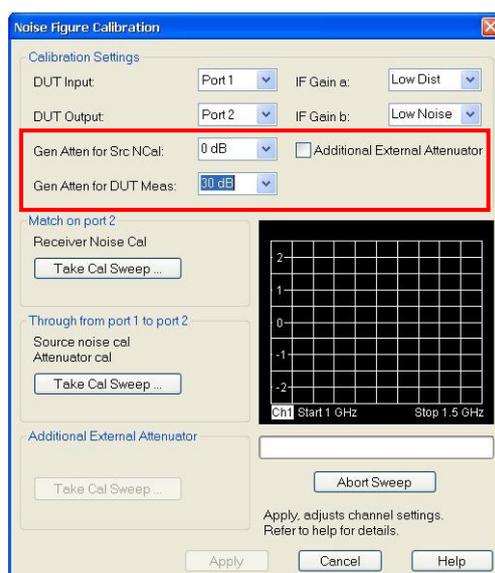
- ▶ **[CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Define Noise Figure Meas ...]**



- ⇒ Detector Meas Time（検波器測定時間）はデフォルトで 10ms に設定されます。設定値を小さくすれば測定時間を短縮できますが、確度も低下します。
- ⇒ ほとんどのアプリケーションでは、シーケンシャル・モードが推奨されます。これら 2 つのモードの詳しい説明については、1.5.4.2 項を参照してください。

3.1.2.5 ステップ 4：雑音指数校正の設定

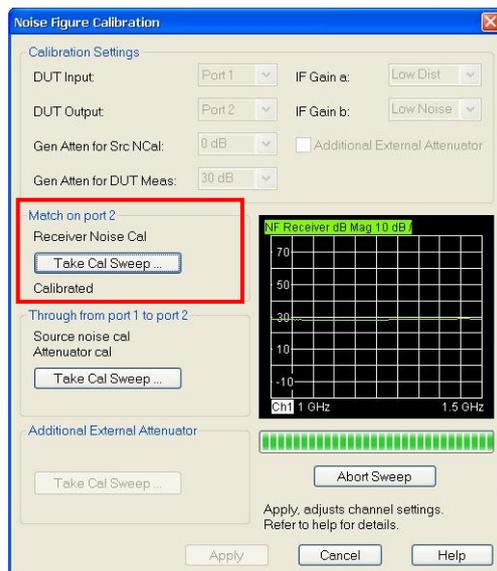
- ▶ [CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Noise Figure Cal ...]



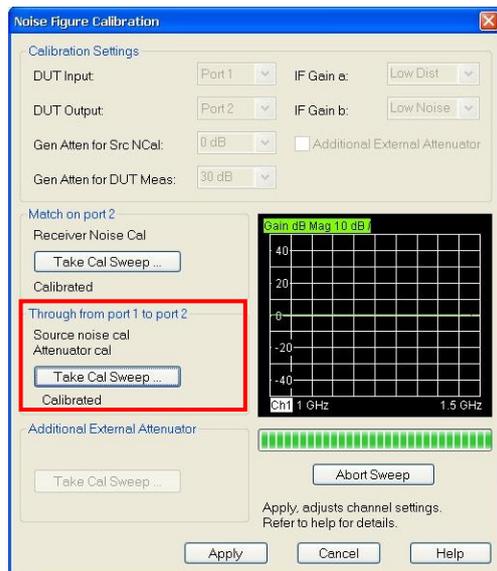
- ⇒ [Gen. Atten. for Src NCal]設定と[Gen. Atten. for DUT Meas]設定を使用すれば、信号源雑音校正ステップとその後の測定に対して、異なる信号源ステップ・アッテネータ・レベルを定義することができます。信号源雑音校正においては、校正時にレシーバのフロントエンドでの圧縮を避けるためプリアンプを挿入する場合に限り、入力パワーを下げる必要があります。測定のための減衰値は、1.4 項に述べたようにシステムの（DUT+プリアンプ）利得によって異なります。

3.1.2.6 ステップ 5 : 雑音指数の校正

- ⇒ 1.5.5 項に述べたように、雑音指数校正ステップの順番は任意です。ポート 1 およびポート 2 の基準面のスルー接続はすでに完了しているため、信号源雑音校正ステップは、校正プロセスに要する時間を短縮するために、レシーバ雑音校正ステップの前に行うことができます。ただしこの場合、信号源の雑音指数はダイアグラムエリアに表示されません。そのため、以下の説明ではレシーバ雑音校正を最初に行います。



- ▶ レシーバの基準面をマッチで終了します。
 - ▶ **[Take Cal Sweep]**
- ⇒ レシーバ雑音が測定されてグラフに表示されます。

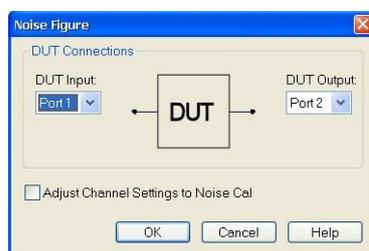


- ▶ 信号源とレシーバの基準面をスルー接続します。
- ▶ **[Take Cal Sweep]**

- ⇒ 信号源雑音校正と DUT 測定のアッテネータ設定が異なる場合は、校正時掃引は 2 回行われます。
- ⇒ 信号源雑音が測定され、グラフに表示されます（1 回めの掃引）。2 回めの掃引ではアッテネータ値の差が測定されて正規化されます。
- ⇒ 外部アッテネータを使用するため設定時にこれを選択した場合、アッテネータの校正時の掃引は個別のステップで行われるので、ユーザは信号源雑音校正後にさらに外部アッテネータを追加することができます。このようにして、内部ステップ・アッテネータを使用する場合と同様に、信号源雑音校正ステップと DUT 測定に対して 2 つの異なる減衰値を選ぶことができます。
- ▶ **[Apply]** をクリックしてダイアログを閉じます。

3.1.2.7 ステップ 6：雑音指数トレースを有効にする

- ▶ **[TRACE] → [Meas] → [Noise Figure ...]**



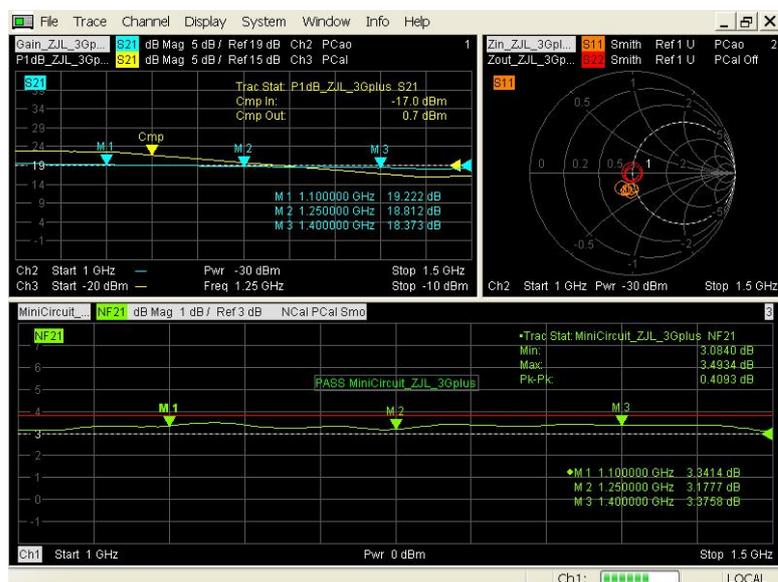
- ▶ 測定ポートに対する測定値として NF21 を選択します。

3.1.3 雑音指数の測定結果

ステップ 1~6 に従ってセットアップと雑音指数測定のための校正が完了すれば、DUT の雑音指数を測定するためのアナライザの準備は完了です。さらに、下のスクリーンショットに示すように、リミットラインを設定してトレースのデータを表示することができます。



すべてのアンプ特性を把握するために、利得、1dB 圧縮ポイント、またはデバイスの入出力マッチングなどのパラメータを確認したい場合も考えられます。1つの接続で複数のチャンネルを使用する場合は（1.9項を参照）、アンプの特性を1つの画面で一括表示することができます。



3.1.4 測定セットアップ b) – オプションを使用せず、R&S ZVA8 で測定した場合

3.1.4.1 セットアップの選択

測定のセットアップと設定は、1.4項に示す手順に従って決定されます。

最初のステップとして、R&S ZVA8 の特性を表 1 と表 2 から選びます。レシーバ雑音指数は約 35dB で、1dB 圧縮ポイントは約 10dBm です。

2 つめのステップはレシーバ設定の選択です。ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションは使用できないので、残された選択肢はプリアンプが必要かどうかです。DUT の利得は約 20dB なので、レシーバ雑音指数 (RNF) 条件式は次のようになります。

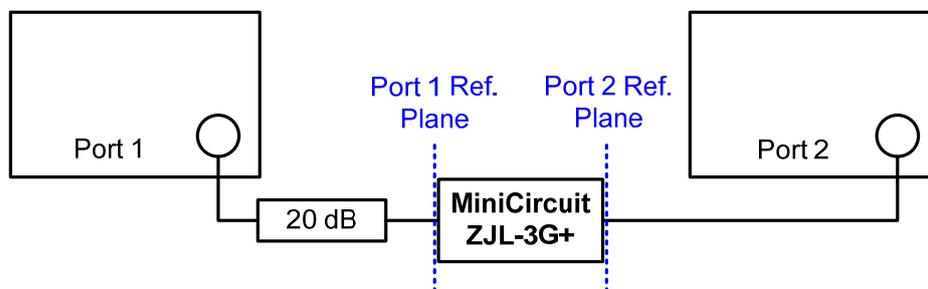
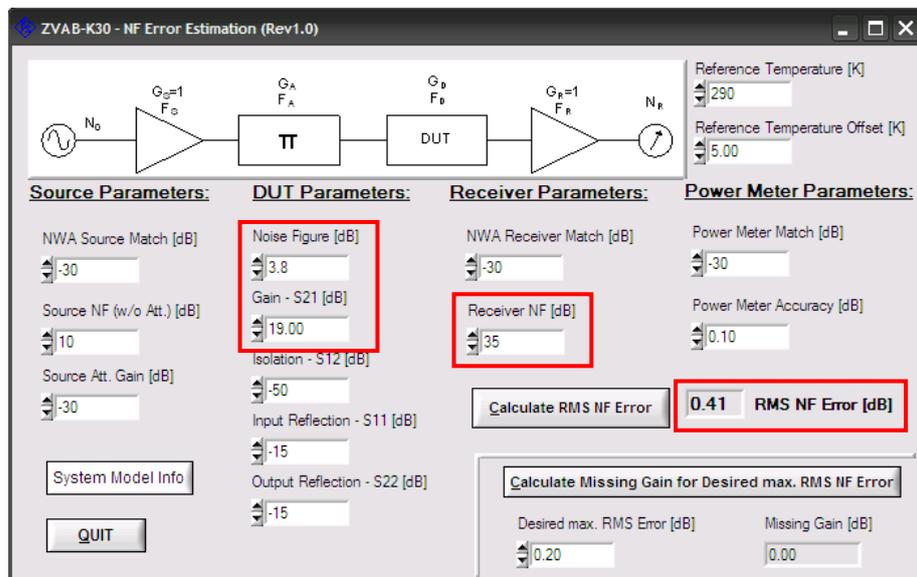
$$35\text{dB} < 20\text{dB} + 10\text{dB} = 30\text{dB}$$

この式は、雑音指数に関して DUT の特性付けを行うにはアナライザの感度が不十分であることを示しているため、プリアンプの使用を考慮する必要があります。この条件は経験則に過ぎないので、プリアンプなしでの測定を試してみることもできます。以下では、レシーバ・セットアップ・オプション 1 を使用します。

次のステップは、適切な減衰値を選ぶことです。DUT の利得を補正するには 20dB のアッテネータが妥当です。ソースパワーが 0dBm の時、パワーレベルは DUT 入力において -20dBm、レシーバ入力において -1dBm です。いずれの場合も、パワーレベルは DUT の 1dB 圧縮ポイント -10dBm や、アナライザの 1dB 圧縮ポイント 10dBm より十分に低くなります。

ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションや内部ステップ・アッテネータ・オプションは使用できないので、信号源セットアップ・オプション 1 を使用しなければなりません。最終的なセットアップを下の図に示します。

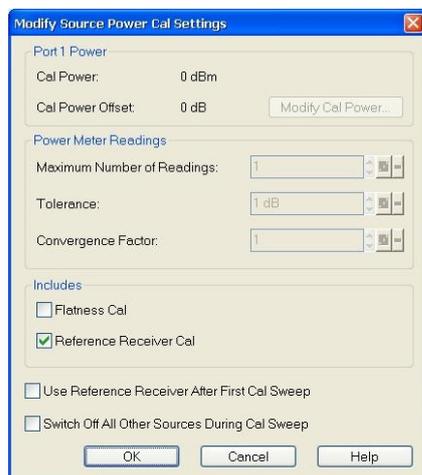
選択したセットアップは NF 誤差予測ツールを使用してチェックすることができ、選択したセットアップに対して得られる測定の不確かさは 0.4dB です。



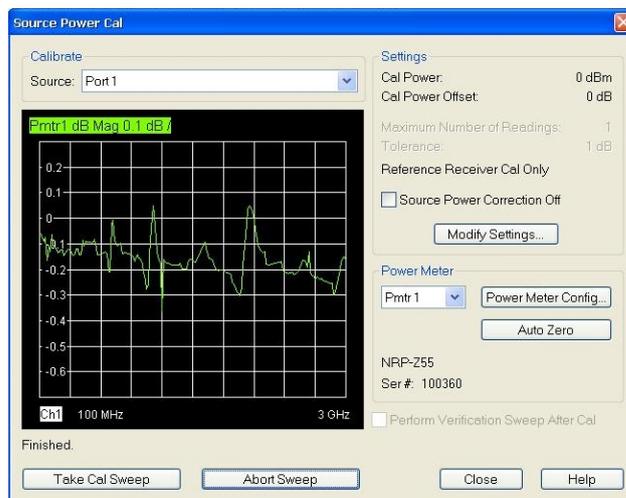
周波数範囲 : 0.1~3GHz
 ポイント数 : 201
 パワー : 0dBm
 測定ポイント : DUT 入力@ポート 1、外部アッテネータ使用 (20dB)
 DUT 出力@ポート 2

3.1.4.2 ステップ1：ソースパワー校正

- ▶ ポート1の基準面にパワー・センサを接続しますが、外部アッテネータは使用しません。
- ▶ [Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Source Power Cal ...]
- ▶ [Modify Settings...]



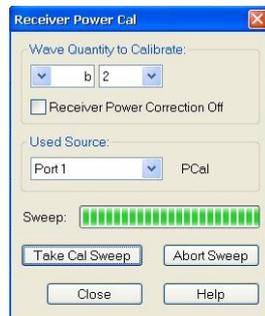
- ⇒ 基準レシーバの校正のみで十分です。
- ▶ [Take Cal Sweep]



- ⇒ 校正後のパワー曲線がフラットでスムーズである必要はありません。正しいパワーレベルを示すことが重要です。
- ⇒ たとえば-30dBm といった低いパワーレベルでパワー校正を行うと、後で行う雑音指数測定の確度が低下する恐れがあります。これは、低パワーレベルにおいてはパワー・センサの確度が下がることによります。**推奨校正パワーレベルは0dBmです。**

3.1.4.3 ステップ 2 : 測定レシーバ校正

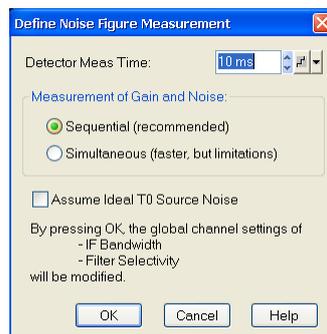
- ▶ ポート 1 とポート 2 の基準面を直接接続しますが、この場合も外部アッテネータは使用しません。
- ▶ [CHANNEL] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Receiver Power Cal ...]



- ▶ Wave quantity b2 を選択し、信号源ポートにポート 1 を選択します。
- ▶ [Take Cal Sweep]

3.1.4.4 ステップ 3 : 雑音指数測定の設定

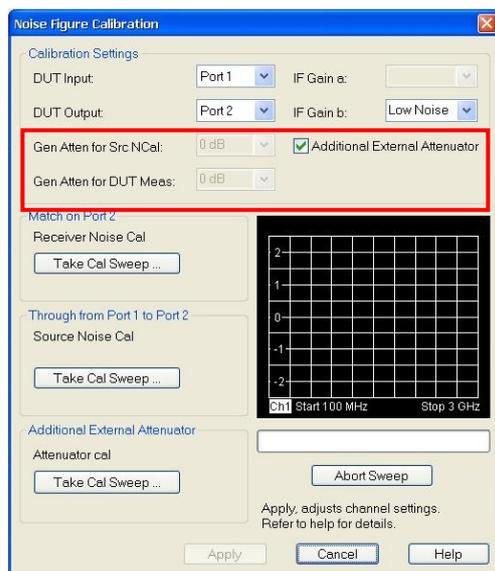
- ▶ [CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Define Noise Figure Meas ...]



- ⇒ Detector Meas Time (検波器測定時間) はデフォルトで 10ms に設定されます。これよりも小さい値にすれば測定時間は短縮されますが、トレースノイズが増加します。
- ⇒ ほとんどのアプリケーションでは、シーケンシャル・モードが推奨されます。これら 2 つのモードの詳しい説明については、1.5.4.2 項を参照してください。

3.1.4.5 ステップ 4 : 雑音指数校正の設定

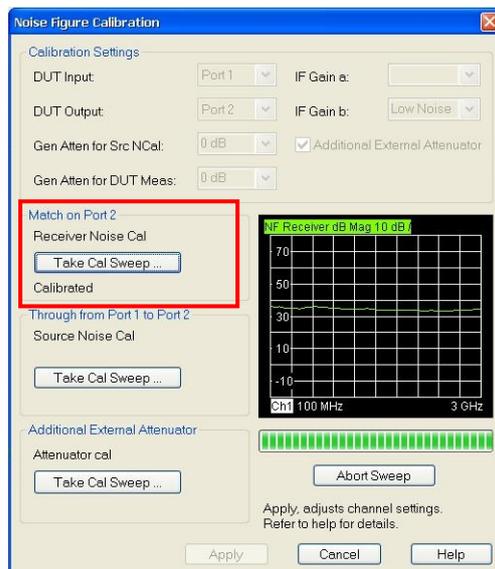
- ▶ [CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Noise Figure Cal ...]



- ⇒ 内部ステップ・アッテネータがないので、[Additional External Attenuator]チェックボックスをオンにする必要があります。

3.1.4.6 ステップ 5 : 雑音指数の校正

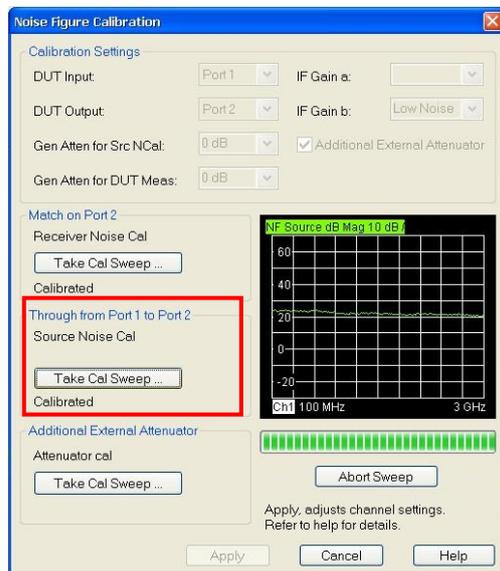
- ⇒ 1.5.5 項に述べたように、雑音指数校正ステップは任意の順番で行うことができます。ポート 1 およびポート 2 の基準面のスルー接続は測定レシーバ校正で完了しているので、信号源雑音校正ステップは、校正プロセスに要する時間を短縮するために、レシーバ雑音校正ステップの前に行うことができます。ただしこの場合、信号源の雑音指数はダイアグラムエリアに表示されません。そのため、以下の説明ではレシーバ雑音校正を最初に行います。



- ▶ レシーバの基準面をマッチで終端します。

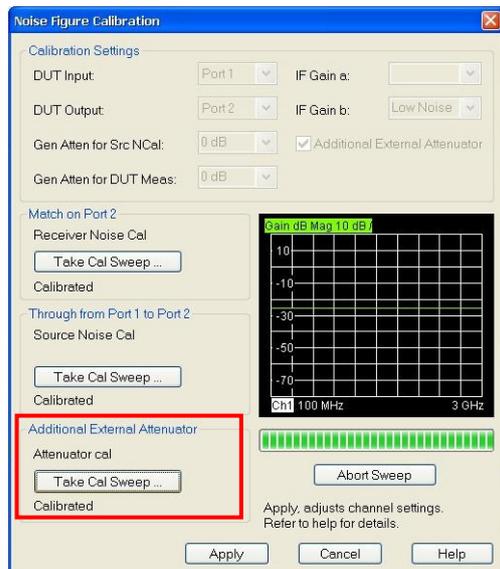
▶ [Take Cal Sweep]

⇒ レシーバ雑音指数が測定されてグラフに表示されます。



▶ 信号源ポートとレシーバ・ポートをスルー接続します。

▶ [Take Cal Sweep]



▶ 信号源ポートに外部アッテネータを接続して、信号源とレシーバの基準面をスルー接続します。

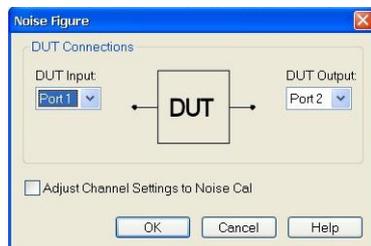
▶ [Take Cal Sweep]

⇒ 挿入された減衰値が測定されてグラフに表示されます。

▶ [Apply]をクリックしてダイアログを閉じます。

3.1.4.7 ステップ 6 : 雑音指数測定の設定

- ▶ [TRACE] → [Meas] → [Noise Figure ...]



- ▶ 測定ポートに対する測定値として NF21 を選択します。

3.1.5 雑音指数の測定結果

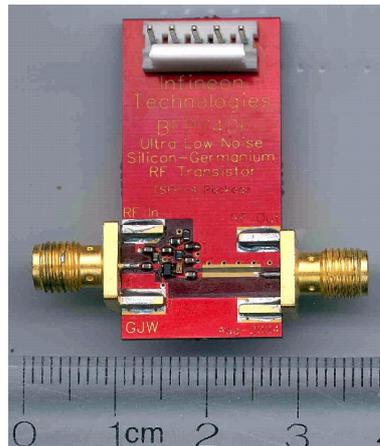
ステップ 1~6 に従いセットアップと雑音指数測定のための校正が完了すれば、DUT の雑音指数を測定するためのアナライザの準備は完了です。スクリーンショットに示すように利得測定のための第 2 測定チャンネルが有効になり、1.9 項に示す内容が表示されます。



3.2 ローノイズアンプ BFP740F

3.2.1 DUT

タイプ： ローノイズ RF アンプ
製造者： Infineon Technologies



データシート：<http://www.infineon.com/.../BFP740F>
アプリケーション：
- デジタル・オーディオ放送 DAB-L (1452.960MHz~1490.624MHz)
- GPS 「L1」周波数 (1575.42MHz)
- 1900MHz PHS および PCS
特性：
- 雑音指数@1.4GHz~2GHz：約 0.7dB
- 利得@1.4GHz~2GHz：>18dB

3.2.2 測定セットアップ

3.2.2.1 セットアップの選択

この場合も、最初のステップとして R&S ZVA40 の特性を表 1 と表 2 から選びます。レシーバの雑音指数は約 35dB で、1dB 圧縮ポイントはポート・コネクタで約 3dBm、B16 「Meas In」コネクタで-10dBm です。

2 つめのステップはレシーバ設定の選択です。DUT の利得は約 18dB なので、レシーバ雑音指数 (RNF) 条件式は次のようになります。

$$35 \text{ dB} < 18 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = 28 \text{ dB}$$

ここでは、左辺と右辺の差が大きい上に DUT の雑音指数が小さいので、レシーバ・セットアップ・オプション 1 は考えません。この例では、R&S ZVA のダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを利用します。DUT の雑音指数と S パラメータを並列で測定したいので、この場合はレシーバ・セットアップ・オプション 4 を選び、プリアンプを測定パスに挿入する必要があります。

以下の関係が成り立てば、前の例で使用した ZJL-3G+をプリアンプとして使用することができます。

$$NF_R - L_{G_{Pre}} < L_{G_D} + 10\text{dB}$$

プリアンプの利得 G_{Pre} と雑音係数 F_{Pre} 、R&S ZVA のレシーバ雑音係数 F_M と DUT の利得 G_D の値を入力することによって、次の関係が得られます。

$$35\text{dB} - 19\text{dB} < 18\text{dB} + 10\text{dB}$$

$$16\text{dB} < 28\text{dB}$$

この関係が成り立つので、選択したプリアンプを使用することができます。

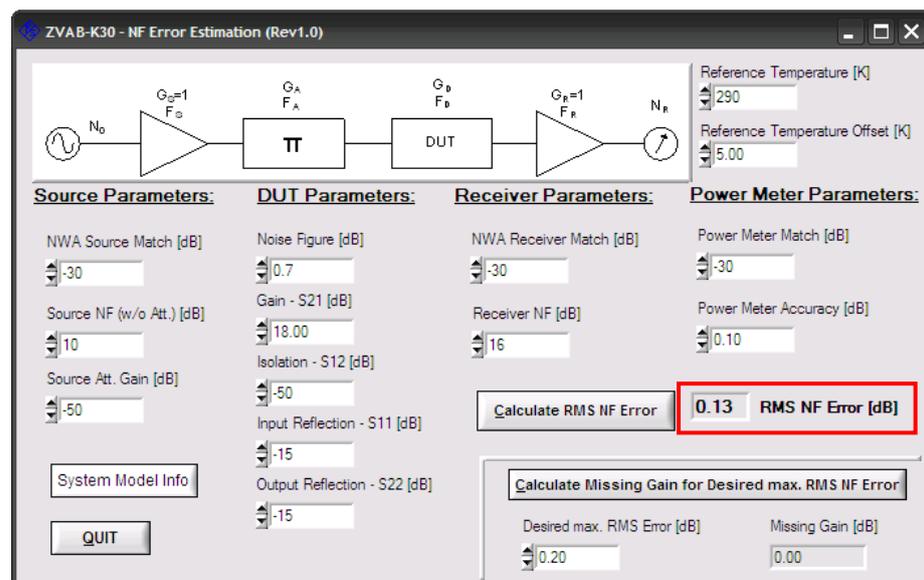
次のステップは、適切な減衰値を選ぶことです。1.4.4 項に示す手順に従い、ダイレクト・レシーバ・アクセス・コネクタにおける値を $L_{P_{1dB,DUT}} = -17.5\text{dBm}$ 、 $L_{P_{1dB,Pre}} = 10\text{dBm}$ 、 $L_{P_{1dB,ZVA}} = -10\text{dBm}$ とすることによって、以下の減衰値が得られます。

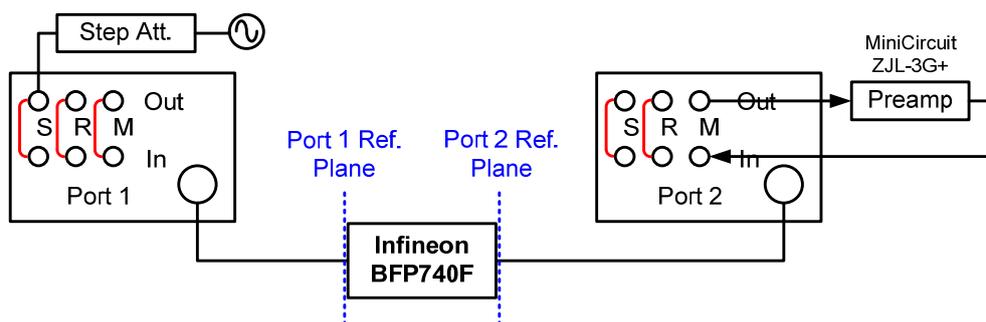
- $L_{A_1} = 27.5\text{dB}$
- $L_{A_2} = 8\text{dB}$
- $L_{A_3} = 38\text{dB}$

最大値は 38dB です。安全を期すため、このセットアップでは減衰値を 50dB とします。

信号源セットアップではステップ・アッテネータ・オプションを使用できるので、信号源セットアップ・オプション2ではこれを使用します。最終的なセットアップを下の図に示します。

選択したセットアップは NF 誤差予測ツールを使用してチェックすることができ、選択したセットアップに対して得られる測定の不確かさは <0.2dB です。





周波数範囲： チャンネル 1： 1.45~1.50GHz → DAB-L バンド
 チャンネル 2： 1.57~1.58GHz → GPS L1
 チャンネル 3： 1.93~1.99GHz → PCS DL
 チャンネル 4： 1~3GHz → 広帯域利得

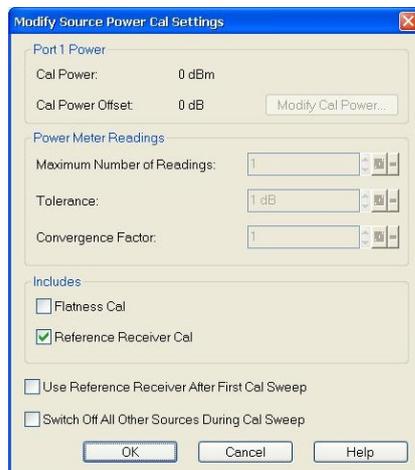
ポイント数： 201 (各チャンネル)

パワー： 0dBm

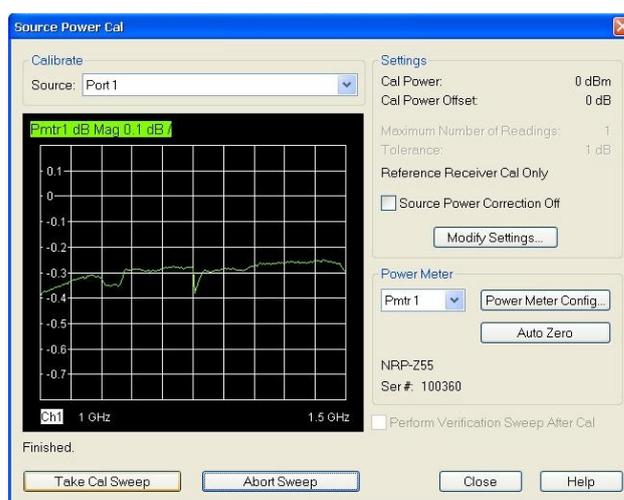
測定ポイント： DUT 入力@ポート 1
 DUT 出力@ポート 2 (測定パスにプリアンプを使用)

3.2.2.2 ステップ 1： ソースパワー校正

- ▶ ポート 1 の基準面にパワー・センサを接続します。
- ▶ [Channel] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Source Power Cal ...] →
- ▶ [Modify Settings...]



- ⇒ 基準レシーバの校正のみで十分です。

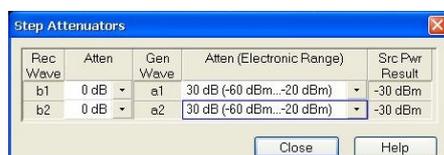


▶ [Take Cal Sweep]

- ⇒ 校正後のパワー曲線がフラットでスムーズである必要はありません。正しいパワーレベルを示すことが重要です。
- ⇒ たとえば-30dBm といった低いパワーレベルでパワー校正を行うと、後で行う雑音指数測定 の確度が低下する恐れがあります。これは、低パワーレベルにおいてはパワー・センサの 確度が下がることによります。推奨校正パワーレベルは 0dBm です。

3.2.2.3 ステップ 2：ソースパワーの調整と測定レシーバ校正

- ▶ [CHANNEL] → [Power Bandwidth Average] → [Step Attenuators ...]



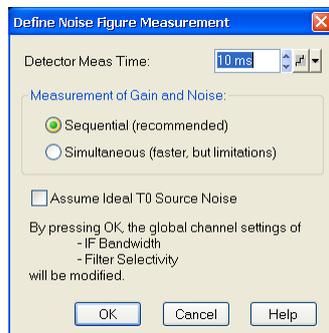
- ⇒ 受信パス内にプリアンプがあるので、圧縮の影響が出るのを避けるために、測定レシーバ 校正時にはポート 1 とポート 2 に供給される信号を小さくする必要があります。
- ▶ ポート 1 とポート 2 の基準面を直接接続します。
- ▶ [CHANNEL] → [Calibration] → [Start Power Cal] → [Receiver Power Cal ...]



- ▶ Wave quantity b2 を選択し、信号源ポートにポート 1 を選択します。
- ▶ [Take Cal Sweep]

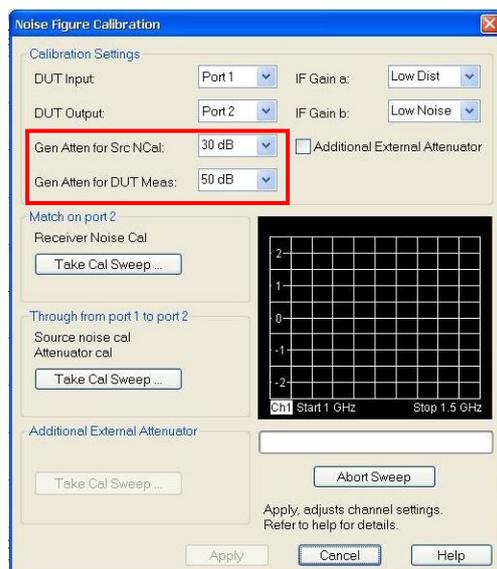
3.2.2.4 ステップ 3 : 雑音指数測定の設定

- ▶ [CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Define Noise Figure Meas ...]



3.2.2.5 ステップ 4 : 雑音指数校正の設定

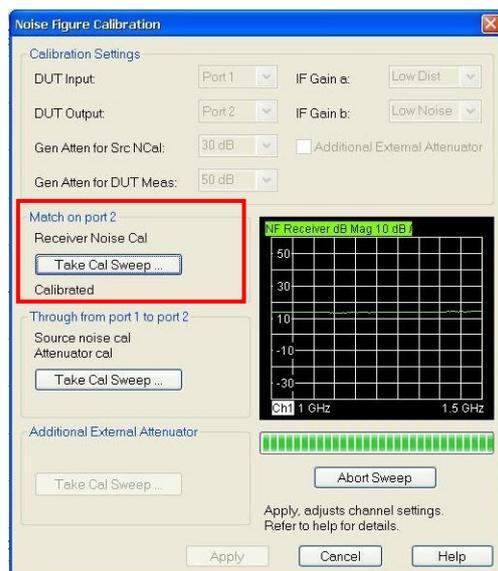
- ▶ [CHANNEL] → [Mode] → [Noise Figure Meas] → [Noise Figure Cal ...]



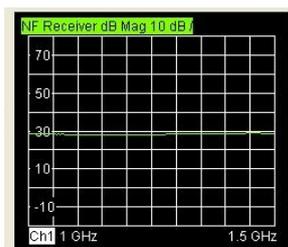
- ⇒ [Gen. Atten. for Src NCal]設定と[Gen. Atten. for DUT Meas]設定を使用すれば、信号源雑音校正ステップとその後の測定に対して、異なる信号源ステップ・アッテネータ・レベルを定義することができます。プリアンプが取り付けられているので、信号源雑音校正を行うには入力パワーを 30dB 下げる必要があります。測定時には、DUT の利得を考慮し、さらに 20dB のアッテネーションが必要です。

3.2.2.6 ステップ 5 : 雑音指数の校正

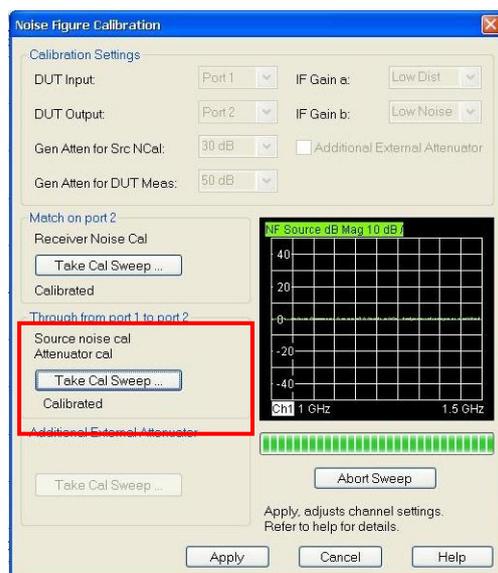
- ⇒ 1.5.5 項に述べたように、雑音指数校正ステップは任意の順番で行うことができます。ポート 1 およびポート 2 の基準面のスルー接続は測定レシーバ校正で完了しているので、信号源雑音校正ステップは、校正プロセスに要する時間を短縮するために、レシーバ雑音校正ステップの前に行うことができます。ただしこの場合、信号源の雑音指数はダイアグラムエリアに表示されません。そのため、以下の説明ではレシーバ雑音校正を最初に行います。



- ▶ レシーバの基準面をマッチで終了します。
 - ▶ **[Take Cal Sweep]**
- ⇒ レシーバ雑音指数が測定されてグラフに表示されます。
- ⇒ プリアンプなしで行った測定と比較すると、レシーバの雑音指数はほぼプリアンプの利得分だけ低下します。



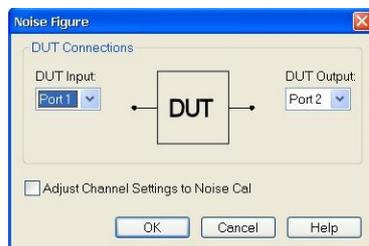
プリアンプなしでのレシーバ雑音校正の結果



- ▶ 信号源とレシーバの基準面をスルー接続します。
- ▶ **[Take Cal Sweep]**
- ▶ **[Apply]**をクリックしてダイアログを閉じます。

3.2.2.7 ステップ 6 : 雑音指数測定の設定

- ▶ **[TRACE] → [Meas] → [Noise Figure ...]**



- ▶ 測定ポートに対する測定値として NF21 を選択します。

3.2.3 雑音指数の測定結果

ステップ 1~6 に従ってセットアップと雑音指数測定のための校正が完了すれば、DUT の雑音指数を測定するためのアナライザの準備は完了です。下に示すスクリーンショットは、3 つの専用アプリケーション・バンドの雑音指数測定の結果（チャンネル 1~3）と、広帯域利得測定の結果（チャンネル 4）を表示したものです。



DAB-L バンドにおける雑音指数測定



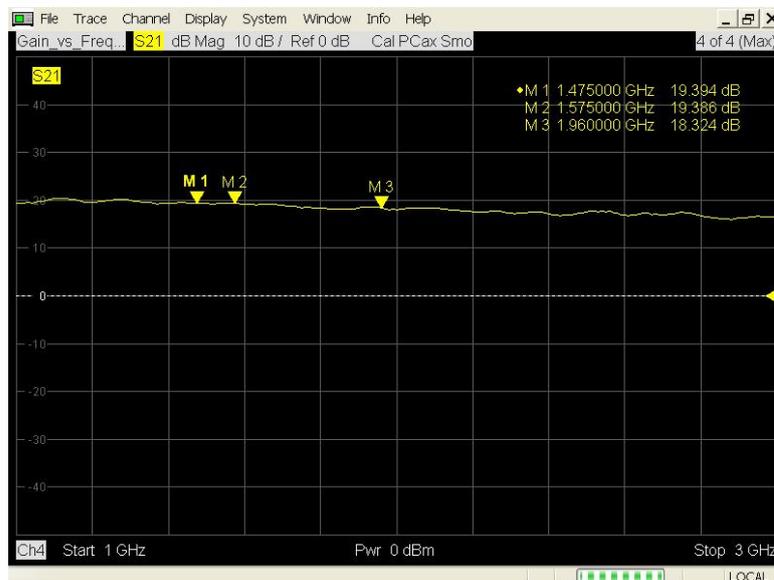
GPS-L1 周波数 1575.42MHz 付近での雑音指数測定



PCS バンドにおける雑音指数測定



1~3GHzの広帯域利得測定

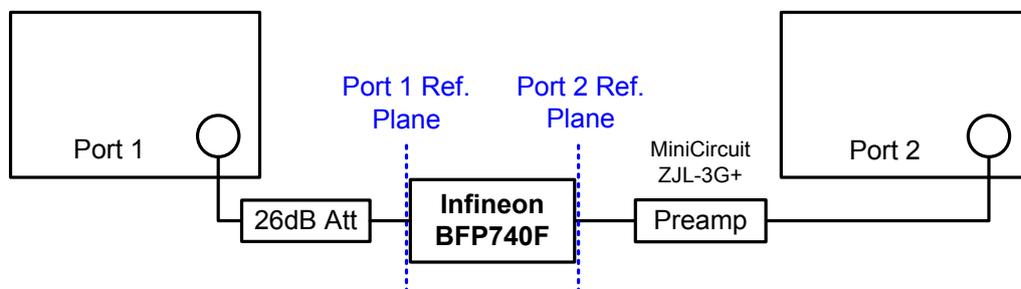


24時間長期安定度測定

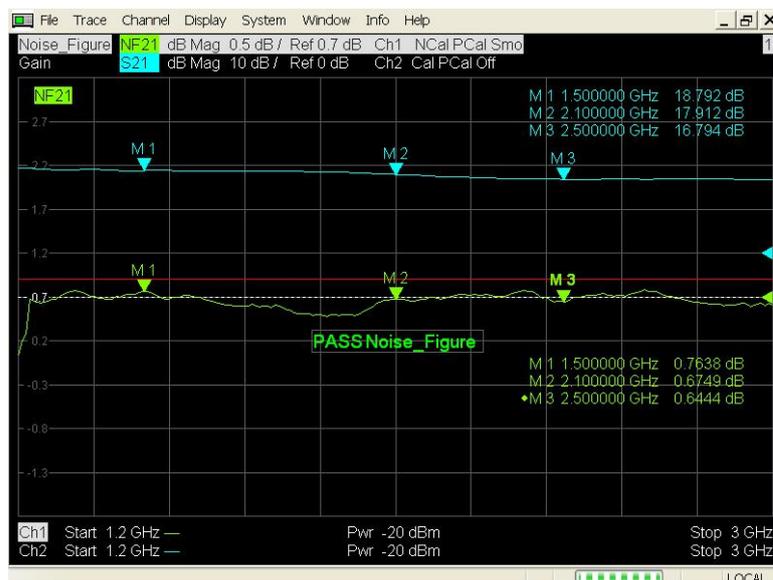


3.2.4 オプションを使用せず、R&S ZVA8 で測定した結果

内部ステップ・アッテネータなし、ダイレクト・レシーバ・アクセスなしの条件で R&S ZVA8 を使用し、同じローノイズアンプを測定します。セットアップと校正は、信号源ポートに 26dB 外部アッテネータを加え、受信パスにプリアンプ（Mini-Circuit ZJL-3G+）を挿入して行います。



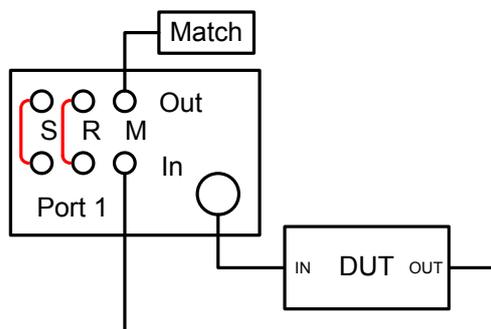
1.2~3GHz における R&S ZVA8 の雑音指数と利得の測定結果



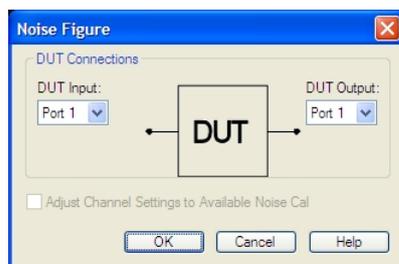
3.3 パラレル測定

生産ラインにおいては、テスト時間をできるだけ短縮して、高いスループットを保ち、最終的にはコストを最小限に抑えるために、パラレル測定が不可欠です。Y ファクタ法を利用する一般的な手法では、アンプのパラレル測定を行うことはほぼ不可能です。しかし、R&S ZVAB-K30 オプションの応用分野のひとつが大量生産ラインです。R&S ZVAxy-B16 ダイレクト・レシーバ・アクセス・オプションを利用すれば、ポートごとに個別の DUT を測定することができます。たとえば、R&S ZVT8 であれば 8 台のデバイスを同時に測定できます。

このセットアップでは、DUT は、測定ポートと、ダイレクト・レシーバ・アクセスの MEAS IN コネクタの間に接続します。

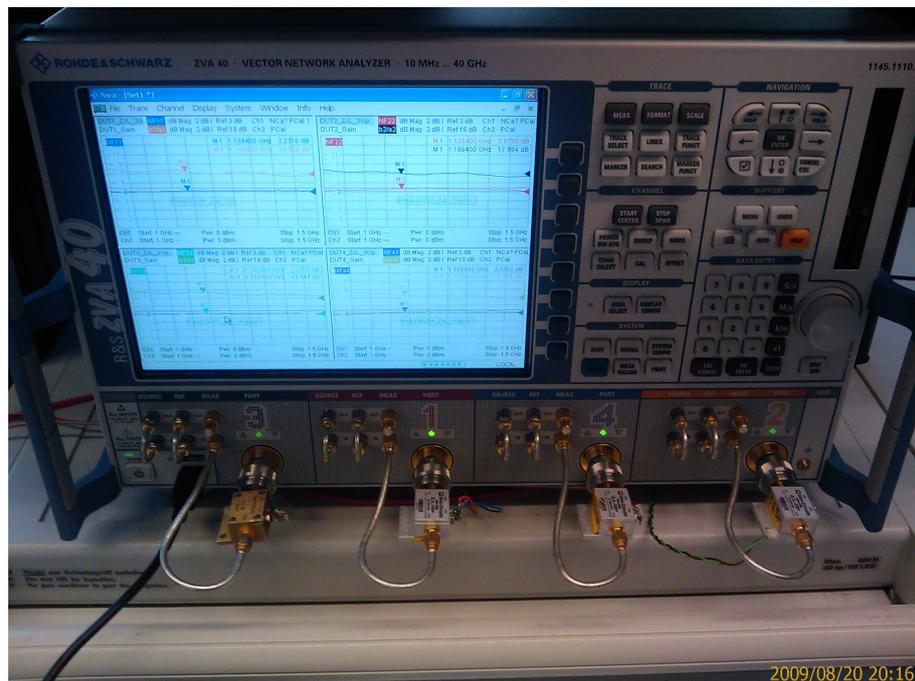


雑音指数のセットアップと校正は、前の測定例に示したものと同様です。異なる点は、選択する測定値です。NF21 ではなく、NF11 の測定を行う必要があります。この場合は、上の図に示したようにポート 1 に対応する MEAS IN コネクタに接続したデバイスの雑音指数が測定されます。



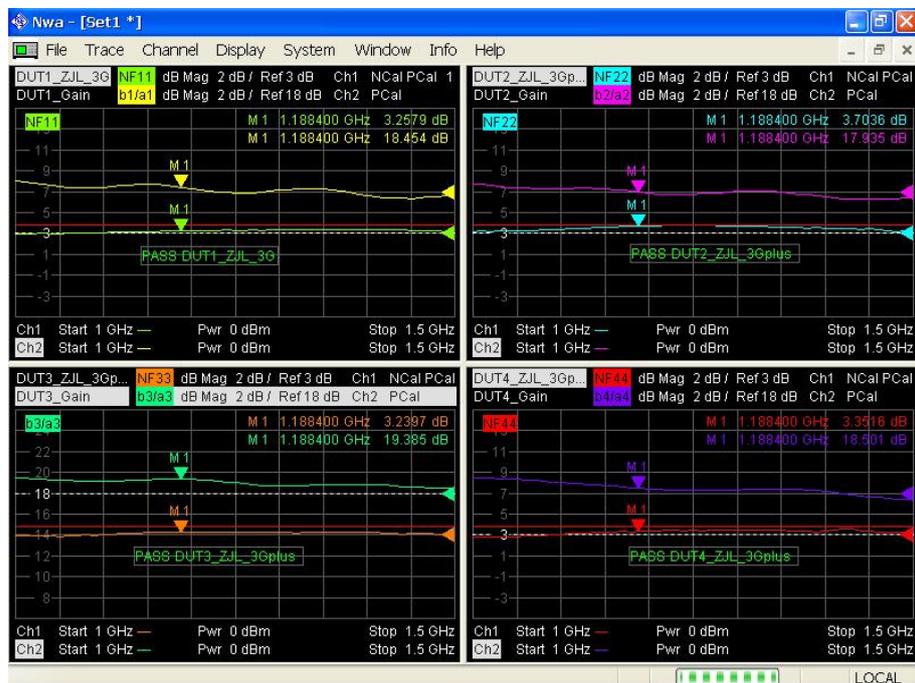
DUT に応じて追加のポートを設定する必要がありますが、たとえば周波数範囲などが等しい場合は同じ測定チャネルを利用することができます。

4 デバイスの平行測定セットアップ



このセットアップでは、雑音指数に加えて各 DUT の利得 ($b1/a1$) も測定できます。

4 デバイスの雑音指数と利得の平行測定結果



4 オーダー情報

品名 本体	型番	周波数範囲	オーダー番号
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、8GHz、N	R&S ZVA8	300kHz ~ 8GHz	1145.1110.08
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、8GHz	R&S ZVA8	300kHz ~ 8GHz	1145.1110.10
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、24GHz、3.5mm	R&S ZVA24	10MHz ~ 24GHz	1145.1110.24
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、24GHz、3.5mm	R&S ZVA24	10MHz ~ 24GHz	1145.1110.26
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、40GHz、2.4mm	R&S ZVA40	10MHz ~ 40GHz	1145.1110.43
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、40GHz、2.92mm	R&S ZVA40	10MHz ~ 40GHz	1145.1110.40
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、40GHz、2.4mm	R&S ZVA40	10MHz ~ 40GHz	1145.1110.45
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、40GHz、2.92mm	R&S ZVA40	10MHz ~ 40GHz	1145.1110.42
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、50GHz、2.4mm	R&S ZVA50	10MHz ~ 50GHz	1145.1110.50
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、50GHz、2.4mm	R&S ZVA50	10MHz ~ 50GHz	1145.1110.52
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート、67GHz、1.85mm	R&S ZVA67	10MHz ~ 67GHz	1305.7002.02
ベクトル・ネットワーク・アナライザ、4ポート、67GHz、1.85mm	R&S ZVA67	10MHz ~ 67GHz	1305.7002.04
オプション			
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、2ポート・モデル、8GHz	R&S ZVA8-B16	300kHz ~ 8GHz	1164.0209.08
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、4ポート・モデル、8GHz	R&S ZVA8-B16	300kHz ~ 8GHz	1164.0209.10
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、2ポート・モデル、24GHz	R&S ZVA24-B16	10MHz ~ 24GHz	1164.0209.24
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、4ポート・モデル、24GHz	R&S ZVA24-B16	10MHz ~ 24GHz	1164.0209.26
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、2ポート・モデル、40GHz	R&S ZVA40-B16	10MHz ~ 40GHz	1164.0209.40
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、4ポート・モデル、40GHz	R&S ZVA40-B16	10MHz ~ 40GHz	1164.0209.42
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、2ポート・モデル、50GHz	R&S ZVA50-B16	10MHz ~ 50GHz	1164.0209.50
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、4ポート・モデル、50GHz	R&S ZVA50-B16	10MHz ~ 50GHz	1164.0209.52
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、2ポート・モデル、67GHz	R&S ZVA67-B16	10MHz ~ 67GHz	1164.0209.67
ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス、4ポート・モデル、67GHz	R&S ZVA67-B16	10MHz ~ 67GHz	1164.0209.69
信号源ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA8用	R&S ZVA8-B21	300kHz ~ 8GHz	1164.0009.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA8用	R&S ZVA8-B22	300kHz ~ 8GHz	1164.0015.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA8用	R&S ZVA8-B23	300kHz ~ 8GHz	1164.0021.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA8用	R&S ZVA8-B24	300kHz ~ 8GHz	1164.0038.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA24用	R&S ZVA24-B21	10MHz ~ 24GHz	1164.0109.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA24用	R&S ZVA24-B22	10MHz ~ 24GHz	1164.0115.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA24用	R&S ZVA24-B23	10MHz ~ 24GHz	1164.0121.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA24用	R&S ZVA24-B24	10MHz ~ 24GHz	1164.0138.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA40用	R&S ZVA40-B21	10MHz ~ 40GHz	1302.5409.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA40用	R&S ZVA40-B22	10MHz ~ 40GHz	1302.5415.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA40用	R&S ZVA40-B23	10MHz ~ 40GHz	1302.5421.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA40用	R&S ZVA40-B24	10MHz ~ 40GHz	1302.5438.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA50用	R&S ZVA50-B21	10MHz ~ 50GHz	1305.5616.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA50用	R&S ZVA50-B22	10MHz ~ 50GHz	1305.5622.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA50用	R&S ZVA50-B23	10MHz ~ 50GHz	1305.5639.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA50用	R&S ZVA50-B24	10MHz ~ 50GHz	1305.5645.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA67用	R&S ZVA67-B21	10MHz ~ 67GHz	1305.7077.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA67用	R&S ZVA67-B22	10MHz ~ 67GHz	1305.7083.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA67用	R&S ZVA67-B23	10MHz ~ 67GHz	1305.7090.02
信号源ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA67用	R&S ZVA67-B24	10MHz ~ 67GHz	1305.7102.02

品名	タイプ	周波数範囲	オーダー番号
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA8用	R&S ZVA8-B31	300kHz ~ 8GHz	1164.0044.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA8用	R&S ZVA8-B32	300kHz ~ 8GHz	1164.0050.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA8用	R&S ZVA8-B33	300kHz ~ 8GHz	1164.0067.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA8用	R&S ZVA8-B34	300kHz ~ 8GHz	1164.0073.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA24用	R&S ZVA24-B31	10MHz ~ 24GHz	1164.0144.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA24用	R&S ZVA24-B32	10MHz ~ 24GHz	1164.0150.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA24用	R&S ZVA24-B33	10MHz ~ 24GHz	1164.0167.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA24用	R&S ZVA24-B34	10MHz ~ 24GHz	1164.0173.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA40用	R&S ZVA40-B31	10MHz ~ 40GHz	1302.5444.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA40用	R&S ZVA40-B32	10MHz ~ 40GHz	1302.5450.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA40用	R&S ZVA40-B33	10MHz ~ 40GHz	1302.5467.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA40用	R&S ZVA40-B34	10MHz ~ 40GHz	1302.5473.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA50用	R&S ZVA50-B31	10MHz ~ 50GHz	1305.5716.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA50用	R&S ZVA50-B32	10MHz ~ 50GHz	1305.5722.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA50用	R&S ZVA50-B33	10MHz ~ 50GHz	1305.5739.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA50用	R&S ZVA50-B34	10MHz ~ 50GHz	1305.5745.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート1、ZVA67用	R&S ZVA67-B31	10MHz ~ 67GHz	1305.7119.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート2、ZVA67用	R&S ZVA67-B32	10MHz ~ 67GHz	1305.7125.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート3、ZVA67用	R&S ZVA67-B31	10MHz ~ 67GHz	1305.7131.02
レシーバ・ステップ・アッテネータ、ポート4、ZVA67用	R&S ZVA67-B32	10MHz ~ 67GHz	1305.7148.02
OCXO 基準発振器	R&S ZVAB-B4		1164.1757.02
タイム・ドメイン (TDR)	R&S ZVAB-K2		1164.1657.02
周波数変換デバイス測定	R&S ZVA-K4		1164.1863.02
ミキサのベクトル測定	R&S ZVA-K5		1311.3134.02
真の差動測定	R&S ZVA-K6		1164.1540.02
パルス測定、3ms	R&S ZVA-K7		1164.1511.02
パルス測定 (2ポート用)、25ms	R&S ZVA-B7		1164.1492.02
パルス測定 (4ポート用)、25ms	R&S ZVA-B7		1164.1492.03
ローカル内蔵ミキサの群遅延測定	R&S ZVA-K9		1311.3128.02
長距離群遅延測定	R&S ZVA-K10		1164.1805.02
ミキサ群遅延測定 (R&S ZVA-K9) 用ケーブルセット	R&S ZVA-B9		1311.3134.0x
受信帯域幅を 5MHz に拡張	R&S ZVA-K17		1164.1070.02
内部パルス変調	R&S ZVA-K27		1164.1892.02
雑音指数測定	R&S ZVAB-K30		1164.1828.02
IEC/IEEE-USB アダプタ	R&S ZVAB-B44		1302.5544.02
VISA I/O ライブラリ	VISA I/O BIB		1161.8473.02

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

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 4-2-11

さくら浦和ビル 4 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。

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。

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

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

TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

www.rohde-schwarz.co.jp