



製品： R&S®ZVA-Z110、R&S®ZVA24、R&S®ZVA40、R&S®ZVT20、R&S®SMF100A

R&S®ZVA 系列のコンバータによる マルチポート・ミリ波測定

アプリケーション・ノート 1EZ56

R&S®ZVA 系列で使用可能な R&S®ZVA-Z110 のコンバータによって、W バンド（75 GHz ~ 110 GHz）でネットワーク解析を行うことができます。このアプリケーション・ノートでは、3 台または 4 台のコンバータによる測定を説明します。このような測定ができる試験システム構成は、現段階では、およそ 40 GHz までの周波数範囲の同軸コネクタ・システムでのみ実現されています。“マルチポート測定”は、この形式の測定に対して生まれた言葉です。



2007 年 9 月 - 本書の内容は変更されることがあります。

目次

目次	2
1. 特徴	3
2. 主要な仕様	4
3. 基本的な必要条件と動作の原理	5
4. 測定例	6
4.1 75 GHz ~ 110 GHz の方向性測定	7
4.2 マジック T に対する S パラメータ測定	14
5. 参考資料	21
5.1 測定例を正確に再現するために	21
5.2 代表的な導波管セクション	22
6. 参考文献	23
7. オーダー情報	23

1. 特徴

R&S®ZVA-Z110 コンバータを接続して使用する場合には、R&S®ZVA と R&S®ZVT20 のベクトル・ネットワーク・アナライザが理想的です。R&S®ZVT20 では、最大 6 つのポートによってミリ波測定を行うことができます。アナライザとともに使用する場合、このコンバータには次の特徴があります。

- このコンバータは内蔵のアッテネータ（パワー調整ネジ）を特徴とし、導波管のテスト・ポートの出力パワーをマニュアルでコントロールすることができます。
- 適切な導波管パワー・センサを使用すれば、アナライザの基準レシーバと測定レシーバのパワー・キャリブレーションを行うことができます。そのあと、これらのレシーバによって、校正された状態で波形測定値を求めることができます。アナライザによって測定を行うと、パワー・メータを使用して直接測定する場合と比較して、ダイナミック・レンジが広くなり、測定速度も上がります。
- 上記の 2 つの機能を組み合わせることによって、マニュアル・コントロールで信号のパワーを正確に設定することができます。
- コンバータは、ネジで接続するフランジのジョイントが簡単に扱えるような形状になっています。
- コンバータには付属品として交換可能なテスト・ポート・アダプタが 2 つついており、各種の導波管に適合させることができます。
- コンバータは、必要に応じて 4 本または 3 本のスタンドを使用するか、あるいはまったくスタンドを使わずに設置することができます。3 本のスタンドを使用すれば、テスト・ポートのフランジの位置が非常に合わせやすくなります。
- コンバータはコンパクト・サイズで、ウエハ検査装置やその他スペースに限りがある用途でも使いやすいように設計されています。
- コンバータは、ファンを使用せずに自然に冷却されます。そのため、ちりやほこりが大敵な環境では特にメリットがあり、また、動作も非常に静かです。
- コンバータには、使用しないときに保護するため、保管用のケースがついています。
- R&S®ZVA と R&S®ZVT20 には特別なコンバータ制御用ソフトウェアのオプションがあり、標準的な測定作業を短時間で簡単に設定することができます。コンバータの型式とケーブル接続方法を選択すると、周波数変換の全比率、およびテスト・ポートのタイプ（例：WR10）やキャリブレーション・キットの選択も含め、その他の設定がすべて自動的に実行されます。
- コンバータは、最小周波数の仕様値未満でも操作することができます。つまり、コンバータの動作範囲を隣接する低周波の帯域にまで拡張することができます。言葉を変えると、R&S®ZVA-Z110 コンバータは 60 GHz 以上の周波数に対しても動作し、W バンド以外でも測定を行うことができるということです。この場合には、データ仕様値との適合性は完全には保証できません。このことは、特に、導波管がカットオフ周波数の近くで操作されている場合に当てはまります。
- コンバータには、付属品として、従来の電源コネクタほぼすべてに対応する 4 種類の AC プラグを含む汎用入力 AC アダプタがついています。

2. 主要な仕様

R&S®ZVA-Z110 コンバータの主な仕様は次のとおりです。¹⁾

周波数範囲	75 GHz ~ 110 GHz
テスト・ポートの出力パワー	+2 dBm (RF INから +7 dBm の場合)
出力パワーの確度	<4 dB (パワー・アッテネーション 0dB の場合)
パワー・アッテネーション (マニュアル)	0 dB ~ 25 dB
ダイナミック・レンジ	95 dB (typ. 110 dB)
RF IN, LO INからの入力パワー	+5 dBm ~ +10 dBm (理想値 +7 dBm)
プラグイン電源	100 V ~ 240 V、47 Hz ~ 63 Hz

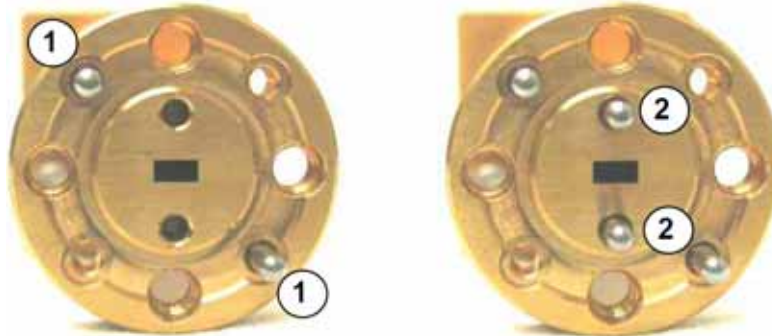


図 2.1 高精度曲がり防止フランジ UG-387 (位置決めピンがない場合とある場合)

50GHz 以上の導波管の場合には、UG-387 のフランジが最も一般的に使用されています。コンバータは、このフランジに適合しています。UG-387 のフランジは、MIL 仕様に従って、直径 1.565 mm (0.0615 インチ) の位置合わせピン (図 2.1 の) とともに使用します。[2] この直径は、非常に多くのメーカーでサポートされています。(例: Aerowave 社、Custom Microwave 社、M/A-COM/Tyco Electronics 社、および Flann Microwave 社) そのほかの直径の位置合わせピンも一般的に使用されています。主要なメーカーは Agilent Technologies 社で、直径 1.605 mm (0.0630 インチ) のピンを提供しています。この UG-387 フランジの変種とも適合するように、コンバータには 2 種類のテスト・ポート・アダプタがついています。(図 2.2) アダプタの 1 つは、1.565 mm の位置合わせピンと使用するように設計されています。このアダプタの場合には、さらに位置決めピンまで使わなくても、非常に正確に接触させることができます。(図 2.1 の) もう 1 つのアダプタは、直径 1.565 mm と 1.605 mm の両方の位置合わせピンで使用できるように設計されています。できるだけ正確に接触させることができるように、このほかに位置決めピンも使用するようお勧めします。位置決めピンは、両方のテスト・ポート・アダプタ (高精度フランジ) に使用することができます。テスト・ポート・アダプタの外側には、フランジが互いの方向に曲がらないようにするために設計された縁がついています。(曲がり防止フランジ) また、標準的なフランジ (曲がり防止仕様になっていないフランジや上記で説明した高精度特性を備えていないフランジ) によって被測定物 (DUT) をテスト・ポート・アダプタに接続することもできます。

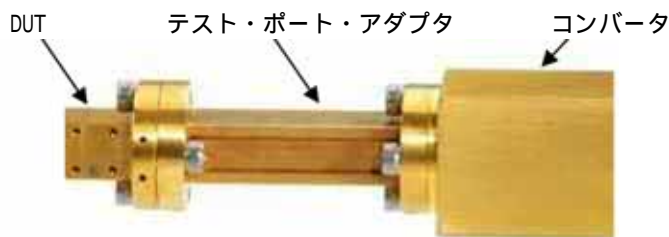


図 2.2 被測定物とコンバータを接続するときの推奨構成

1) データ・シートにまとめられた現行の仕様については参考文献[1]の最新版を参照してください。

3. 基本的な必要条件と動作の原理

このアプリケーション・ノートの前提として、少なくとも 20 GHz の適切な周波数の上限のネットワーク・アナライザ R&S®ZVA または R&S®ZVT が使用されるものとします。ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセスのオプション (R&S®ZVA-B16 または R&S®ZVT-B16) とコンバータ制御用ソフトウェアのオプション (R&S®ZVA-K8) をインストールしなければなりません。

図 3.1 の右側の部分は、R&S®ZVA-Z110 コンバータのブロック図を示しています。この図には、次に示されている主要な機能ブロックが含まれています。

信号源のてい倍回路： RF IN 信号からの周波数 75 GHz ~ 110 GHz の信号を周波数でい倍して出力します。

導波管アッテネータ： 導波管のテスト・ポートの出力パワーを設定するためのネジがついています。

指向性カプラ： 測定値と基準チャネルを分離します。

高調波ミキサ (2 つ)： 測定値と基準チャネルを 279 MHz の固定の IF 信号に変換します。2 つの高調波ミキサは、LO IN 信号の 8 番目の高調波を使用します。

信号が簡単に識別できるように、図 3.1 で LO IN、MEAS OUT、REF OUT、および RF IN の信号に対して使用されている色分け方法は、以下に示されている他の図の場合も同じです。

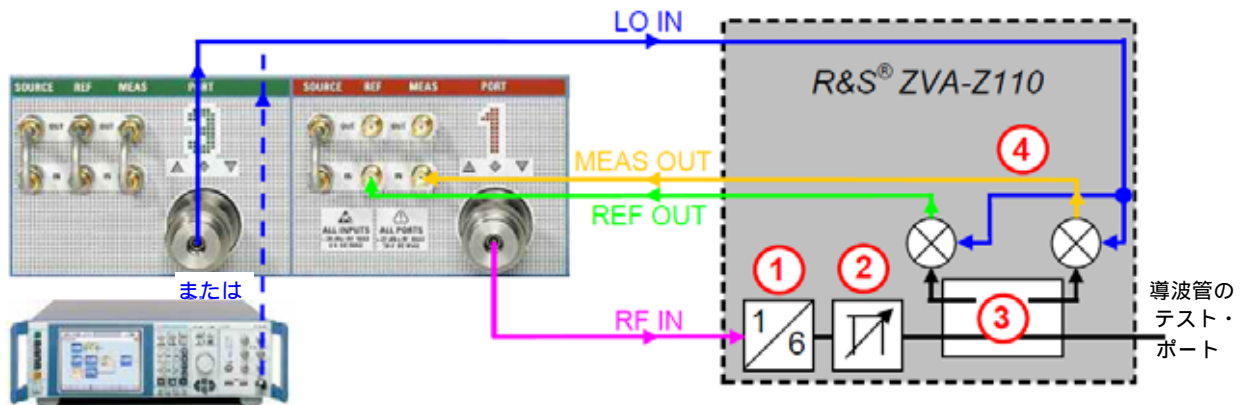


図 3.1 R&S®ZVA-Z110 コンバータのブロック図

図 3.1 の左側の部分は、コンバータとネットワーク・アナライザの接続方法を示しています。各コンバータは、コンバータに RF IN 信号を送り、同様に、コンバータから外部レシーバ入力を経由して REF OUT と MEAS OUT の IF 信号を受け取る、ネットワーク・アナライザのテスト・ポートに対応づけられます。コンバータはこのようにして、それぞれ特定のポートで、ネットワーク・アナライザの内部テスト・セットを置き換えます。(例：図 3.1 に示されている導波管のテスト・ポートで測定されるリターン・ロスの場合は S_{11}) コンバータの導波管のテスト・ポートがアナライザのテスト・ポートと置き換わり、測定値がこのポート(この例ではポート 1)に対応づけられます。コンバータに LO IN 信号を入力するときには、別のテスト・ポート(この例ではポート 3)が必要です。LO IN と RF IN の信号の周波数には、互いに一定の関係があります。RF IN 信号は測定の方角に従ってオン/オフされるのに対し、LO IN 信号は常にオンしておかなければなりません。したがって、LO IN 信号を出力するテスト・ポート(ポート 3)は、ほかの目的に使用することはできません。オプションで、テスト・ポートの代わりに外部シグナル・ジェネレータを使用して LO IN 信号を出力することができます。試験システムに組み込まれたすべてのコンバータに対し、1 つの同じ発振器から LO IN 信号を出力しなければなりません。外部シグナル・ジェネレータの場合には、パワー・スプリッタを使用して LO IN 信号が分配されます。LO IN 信号がネットワーク・アナライザから出力される場合には、通常 2 つのテスト・ポートが使用でき、ネットワーク・アナライザ内部の 1 つの発振器から LO 信号を受け取ります。2 つのテスト・ポートでは足りない場合には、外付けの Wilkinson 分周器を接続することによって各ポートを拡張することができます。

4. 測定例

ミリ波の試験システムを構成するときには、守らなければならない基本的なルールがいくつかあります。詳細については参考資料の 5.1 の項を参照してください。このアプリケーション・ノートでは 3 台または 4 台のコンバータによる使用例を説明するため、試験システムは比較的複雑になります。この使用例が理解しやすいように、R&S®ZVA-Z110 コンバータによる 1 ポート測定と 2 ポート測定を詳細に説明した参考資料の [5] を参照してください。

測定例の概要：

4.1 の項の測定例：

- 外部ジェネレータを使用しない試験システム
- 導波管の 3 つ (4 つ) のテスト・ポートによる S パラメータ測定
- 導波管による UOSM 校正の代表的な使用例
- 被測定物 (DUT) の方向性の計算 (この例では 3 ポートの指向性カブラ)

4.2 の項の測定例：

- LO IN 信号を出力するための外部シグナル・ジェネレータを組み込んだ試験システム
- ネットワーク・アナライザから外部シグナル・ジェネレータを設定・制御する場合
- 導波管の 4 つのテスト・ポートによる S パラメータ測定
- 導波管のテスト・ポート校正時の偏波方向の考慮
- 平衡 S パラメータをミックス・モード S パラメータとして表示する場合

優先的に使用したい試験システム

試験システムに外部シグナル・ジェネレータを使用するかどうかは、多くの場合、ユーザが持ち合わせている計測器によって決まります。ただし、外部シグナル・ジェネレータを使用しない試験システムの場合には、次のような有利な条件があることを理解しておく必要があります。

- 掃引速度が上がること
- 試験システムが非常にコンパクトになること

その他の用途

最大 6 台の R&S®ZVA-Z110 コンバータによって試験システムを実現することもできます。この場合には、6 ポートのネットワーク・アナライザ R&S®ZVT20 と、外部シグナル・ジェネレータおよび適切な LO 配電網とをあわせて使用します。

その他 6 ポートのネットワーク・アナライザ R&S®ZVT20 とコンバータを組み合わせる用途としては、周波数コンバータの導波管などの被測定物 (DUT) に対する測定があります。4.1 の項の図 4.4 の測定例では、導波管のテスト・ポート 1 と 3 に対する RF 信号は、R&S®ZVT20 の別々の発振器から出力されます。したがって、有効な方法で周波数オフセットを設定して、導波管のテスト・ポートに信号を入力することもできます。

4.1 75 GHz ~ 110 GHz の方向性測定

測定作業：

導波管の指向性カプラを測定するための試験システムを作成し、設定します。たった 1 つの試験の手順で重要な S パラメータすべてと方向性を測定します。被測定物 (DUT) は 3 ポートの指向性カプラで、言い換えると指向性カプラの 4 つのポートの 1 つはカプラ内部で Match によって終端されています。ネットワーク・アナライザとして 6 ポートの R&S® ZVT20 を使用します。この例の場合に必要なとされる導波管の 3 つのテスト・ポートに対応して、3 台のコンバータを準備します。試験システムは、4 台目のコンバータによって簡単に拡張することができ、1 つの手順で 4 つのテスト・ポートによって、4 ポートの指向性カプラの全容を測定することができます。

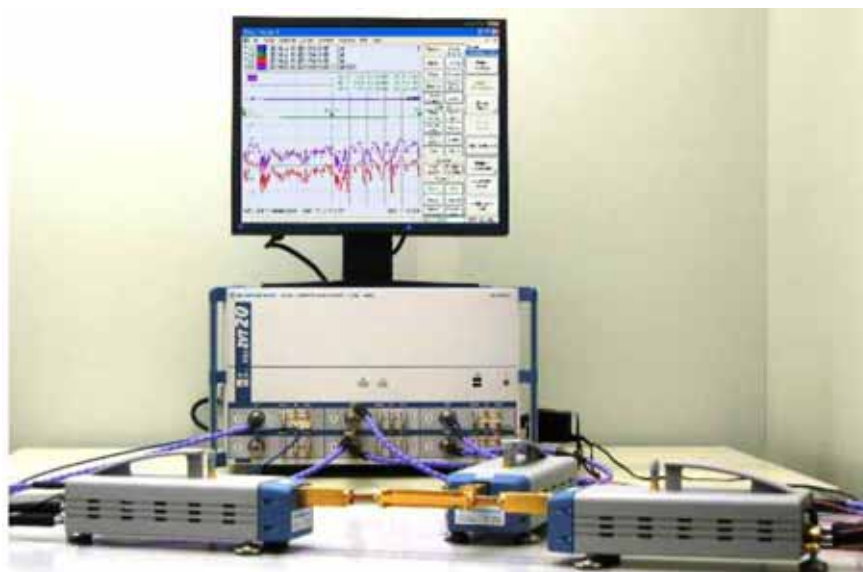


図 4.1 被測定物 (DUT) が接続された試験システム

ステップ 1: コンバータの設定

コンバータの型式 (この場合には ZVA-Z110) とケーブル接続方法 (この場合には内部 RF と内部 LO (RF intern, LO intern)) を選択します。Apply を押して設定を起動し、Close を押してダイアログを終了します。

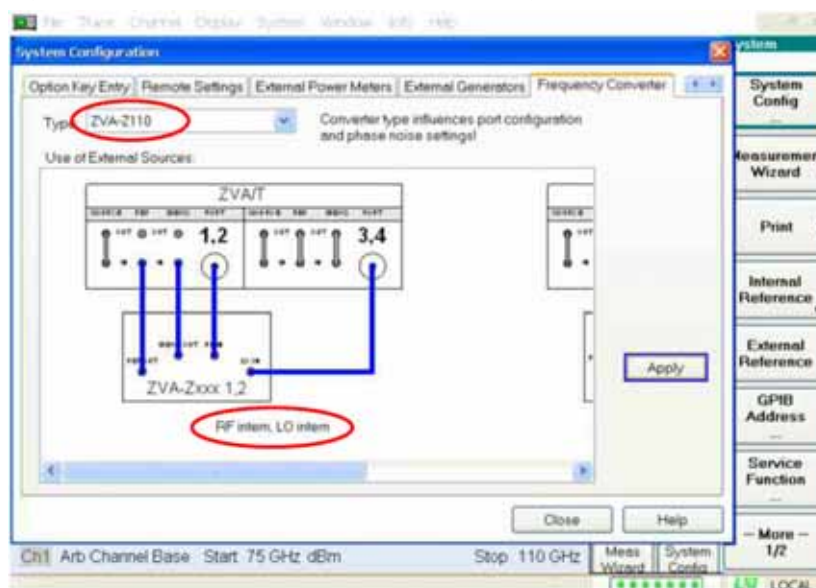


図 4.2 R&S® ZVT20 によるコンバータの設定

基本的にこれで、コンバータが接続されたネットワーク・アナライザの動作が設定されました。このように設定されたことは、まず、図 4.2 の一番下の信号軸の範囲が 75 GHz ~ 110 GHz に変わったことで明らかになります。その他の設定、たとえばキャリアプレーションに重要なテスト・ポートのタイプにも影響が現れます。R&S®ZVT20 の 6 つのテスト・ポートによって、さまざまな方法でケーブルを接続することができます。さらにネットワーク・アナライザ R&S®ZVT20 は、2 ~ 6 つのテスト・ポートによって各種の設定で使用することができます。たとえば図 4.2 に示されているコンバータの設定は、4 ポート R&S®ZVT20 モデルに当てはまります。したがって、ここで説明する測定では、テスト・ポートの対応づけを変更する必要があります。テスト・ポートの設定は、ネットワーク・アナライザの *Mode/Port Config* の項目で行うことができます。図 4.3 には、変更後の設定が示されています。

R&S®ZVT20 の 1 ~ 4 のテスト・ポート (*Port Configuration* テーブルのライン 1 ~ 4) は、*RF IN* 信号を出力するためのポートとして設定されています。基準周波数 f_b の範囲は周波数軸 (75 GHz ~ 110 GHz) と同じで、コンバータによって 6 倍に倍して出力されます。したがって、R&S®ZVT20 によって出力されるソース周波数は、 $f_b/6$ として設定されます。(図 4.3 の 参照) *REF* と *MEAS* の IF 信号のレシーバ周波数 (言い換えると、これらの IF 信号をアナライザに入力するときに必要な周波数) は、279 MHz の固定値に設定されます。(図 4.3 の 参照)

テスト・ポート 5 と 6 は LO 信号を出力し、その周波数は次の数式によって計算されます。 $(f_b - 279 \text{ MHz}) / 8$ (図 4.3 の 参照)

RF IN と *LO IN* の信号には、+7 dBm のパワーが最適です。Power の欄の値 (図 4.3 の) は、それによって設定されます。テスト・ポート 5 は、2 つのコンバータに LO 信号が出力できるように、外付けの Wilkinson 分周器によって拡張されます。(次ページの図 4.4 参照) テスト・ポート 5 に接続された Wilkinson 分周器によって 3 dB の挿入損が発生します。したがって、このテスト・ポートについては、パワーを 10 dBm に設定する必要があります。

Gen の欄のチェック・マーク (図 4.3 の) は、テスト・ポート 5 と 6 が、測定の方に関係なく、常にアクティブ・ポートとして使用されることを示しています。この理由は、測定の方に関係なく、すべてのコンバータで LO 信号が必要とされるためです。

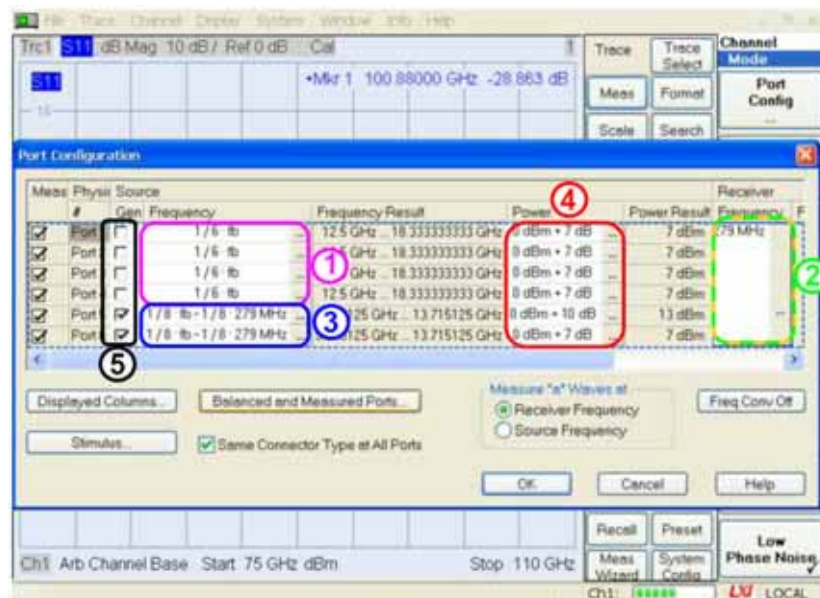


図 4.3 R&S®ZVT20 のテスト・ポートの設定の変更

ステップ 2: コンバータの接続

次の図 4.4 には、ケーブルの接続方法の詳細と R&S®ZVT20 の内蔵の信号源が示されています。LO 信号 (青色) は共通の発振器 (信号源 3) によって出力され、必要に応じ

R&S®ZVA 系列のコンバータによるマルチポート・ミリ波測定

て分配されます。その結果、IF 信号 (MEAS、REF) 同士の位相の関係に一貫性が確保されます。この一貫性は、位相によって S パラメータの測定値を正確に求めるときに必要です。(複素 S パラメータ)¹⁾

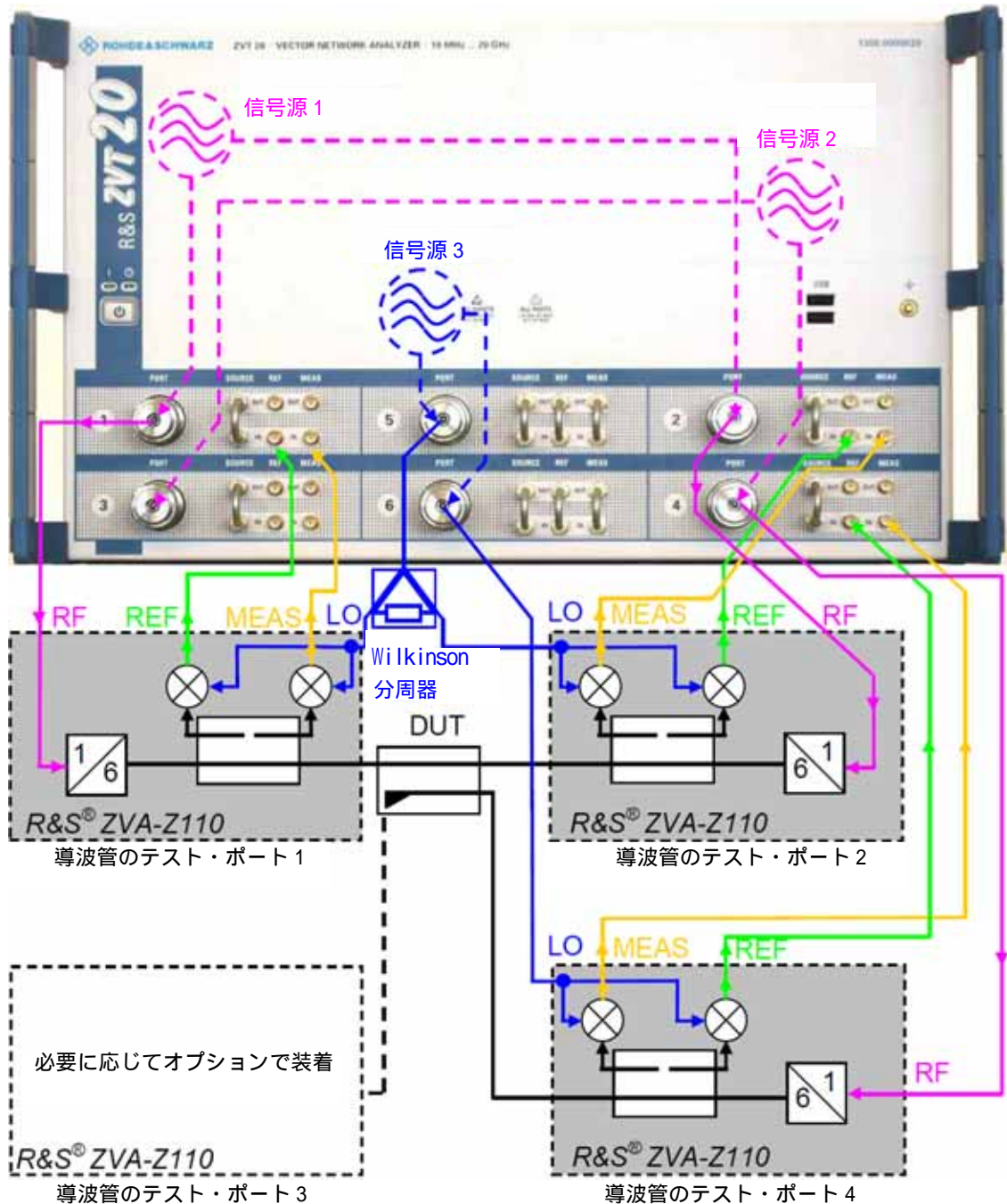


図 4.4 外部ジェネレータを使用しない場合の 3 台 (4 台) のコンバータと 6 ポートの R&S®ZVT20 のケーブル接続方法

ステップ 3: 導波管測定を準備するための操作

この例では、R&S®ZVT20 上で 1 kHz の測定帯域幅を設定します。R&S®ZVA-Z110 コンバータにはテスト・ポートの出力パワーを設定するための調整ネジがついています。(図 4.5 の 参照) ここで測定するパッシブ DUT については圧縮効果を排除することができるため、テスト・ポートの最大出力パワーを使用します。パワー調整ネジの全設定

1) 周波数コンバータなどの被測定物に対する測定の場合、位相情報が必要でない場合も少なくありません。そのようなときには、LO 信号の出力に、さまざまな周波数でも動作可能な各種の発振器を使用すると適切な場合があります。

を >2 mm にすると、出力パワーは最大になります。3 台のコンバータの出力パワーをすべて最大に設定します。

正確な測定結果を得るためには、システム・エラー修正が非常に重要です。いったん校正を行えば（ステップ 4）R&S®ZVT20 によって自動的にシステム・エラー修正が実行されます。校正の前にテスト・ポートの適切な形態や配置を決めておくことをお勧めします。校正のあとでテスト・ポートの配置を大幅に変えると、どうしても精度が失われる可能性があります。テスト・ポートの最適な位置は、たとえば図 4.5 に示されているように、被測定物（DUT）を含めてセットアップを試しながら決定することができます。特にマルチポート測定の場合には、さまざまなセットアップを試みて、次の基準で評価してみるとよいでしょう。

- ネジで接続されるフランジのジョイントが扱いやすいこと
- RF 信号と LO 信号を伝送するためのケーブルの長さが短いこと
- RF と LO のケーブル接続の機械的安定度

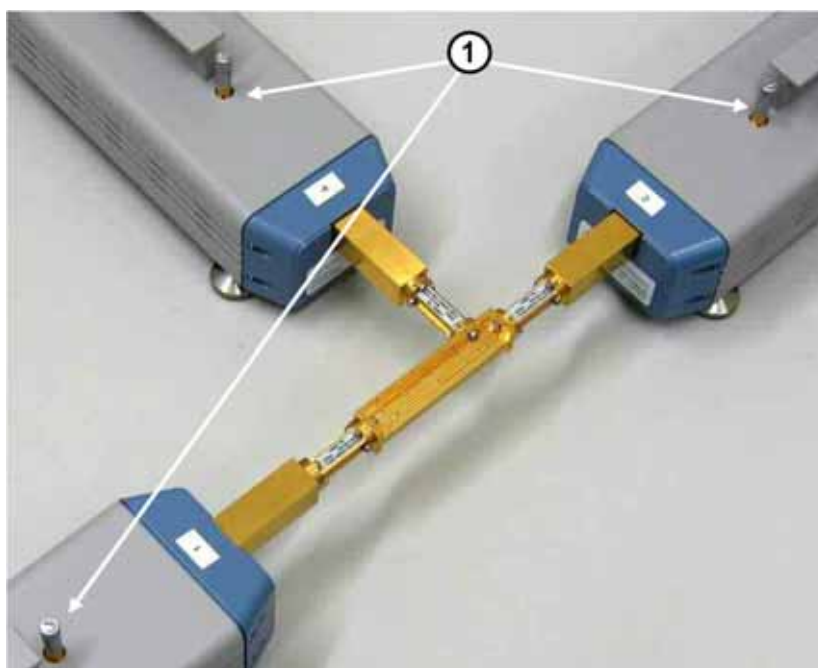


図 4.5 方向性測定の試験システムのセットアップの試行

Through スタンドの性質上、テスト・ポート同士の相対的な位置はだいたい決まっています。したがって、UOSM (*Unknown Through, Open, Short, Match*) の校正技術が最も適しているものと思われます。UOSM は TOSM (*Through, Open, Short, Match*) 技術に類似しています。*Unknown Through* の場合には、*Through* とは異なり、満足させる必要がある条件はたった 1 つ相反性だけです。したがって、*Unknown Through* には、優れたマッチング（整合性）や低損失などの特性は必要ありません。標準的なフランジの低価格の導波管セクションでも相反性の条件を満たすため、*Unknown Through* として使用することができます。このような導波管セクションは、さまざまな形状で使用することができます。（5.2 の項の表 5.1 の左側の欄参照）これらの導波管セクションを使用して、コンバータの位置をそれほど変えることなく、必要な距離をつなぐことができます。

ステップ 4：校正（キャリブレーション）

ネットワーク・アナライザのファームウェアで *Cal/Start Cal/Other* のダイアログを選択します。アナライザから自動的に WR10 のテスト・ポートのタイプが提案されます。また、アナライザからキャリブレーション・キット（この例では R&S®ZV-WR10）も提案され、ユーザに必要な操作は、適切なキットが提案されたかどうかを確認する

ことだけです。¹⁾ 次に示されているダイアログで、校正を詳細に設定することができます。導波管のテスト・ポートとして R&S®ZVT20 のテスト・ポート 1、2、および 4 だけが使用されます。したがって、これらのテスト・ポートだけを選択し、UOSM の校正技術をこれらのポートに指定する必要があります。(図 4.6 参照)

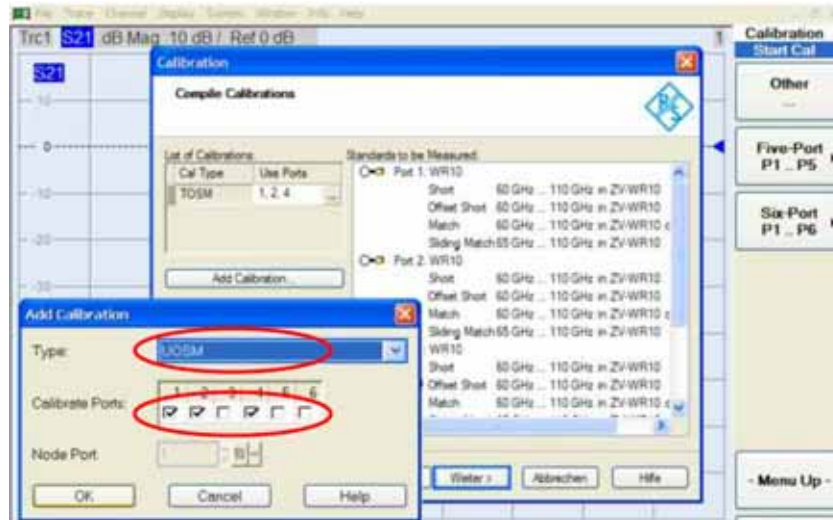


図 4.6 UOSM 校正を行うテスト・ポート 1、2、および 4 の選択

図 4.7 に示されている 1 ポート・キャリブレーション・スタンダードを、3 つのテスト・ポートのそれぞれに、一度に 1 つずつ取りつけて測定します。1 ポート・スタンダードには *Short*、*Offset Short* (*Short* と *Shim* の構成²⁾)、および *Fixed Match* があります。キャリブレーション・スタンダードを取りつけるときには、必ず、導波管のフランジのネジを均等に締めてください。³⁾

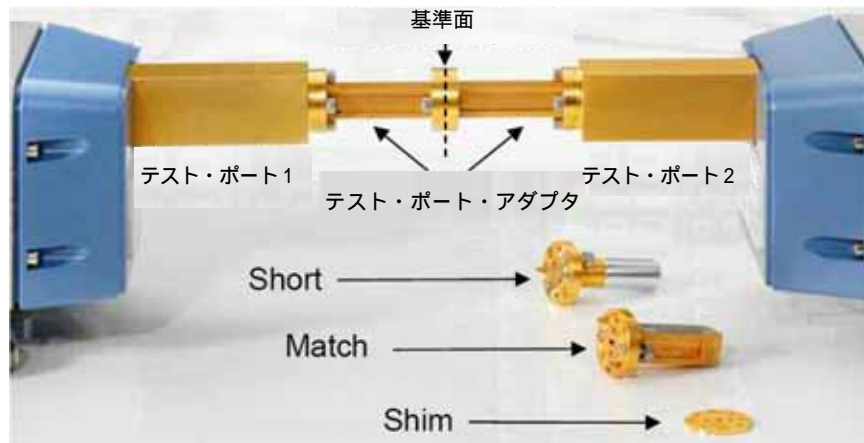


図 4.7 導波管のテスト・ポート 1 と 2 の間の (ダイレクト) *Through* と測定に使用される 1 ポート・キャリブレーション・スタンダード

導波管のテスト・ポート 1 と 2 の間の *Through* は、2 つのテスト・ポート同士を直接ネジで留めて設定します。(上の図 4.7 参照) 導波管のテスト・ポート 1 と 4 および

- 1) R&S®ZV-WR10 のキャリブレーション・キットを使用するようお勧めします。ユーザ独自のキャリブレーション・キットを設定することもできます。その場合には、R&S®ZVT20/R&S®ZVA の対話形式のヘルプ機能を参照してください。
- 2) 導波管技術をベースにした構成では、導波管の開放端 (オープン・エンド) で放射損が発生するため、*Open* スタンダードを設定することはできません。さらに反射スタンダードを加えるときには、*Shim* と呼ばれる小さな導波管セクションによって適切に変形された *Short* が使用されます。
- 3) さらに確度を上げるときには、位置決めピン (図 2.1 の 参照) も使用して R&S®ZV-WR10 のキャリブレーション・キットのスタンダードを固定することができます。

R&S ZVA 系列のコンバータによるマルチポート・ミリ波測定

2 と 4 の間の *Through* スタンダードは、あらかじめ決められたテスト・ポートの位置が変わらないように、H 面バンドを使用して設定します。(ステップ 3 参照)



図 4.8a: 導波管のテスト・ポート 1 と 4 の間の *Unknown Through* スタンダード



図 4.8b: 導波管のテスト・ポート 2 と 4 の間の *Unknown Through* スタンダード

UOSM 技術には、 180° の位相に固有のあいまいさがあります。代表的な同軸 *Through* スタンダードの場合、 0 Hz で 0° の位相が測定されます。このようなスタンダードについては、ネットワーク・アナライザは自動的に校正の測定結果を 0 Hz に補外し、その結果、位相のあいまいさが排除されます。対照的に、導波管などの分散型の伝送線路では、位相のあいまいさを自動的に排除することはできません。したがって、*Unknown Through Characteristics* のダイアログで *Dispersive* を起動する必要があります。このダイアログは、すべての校正測定が終了したあとで表示されます。

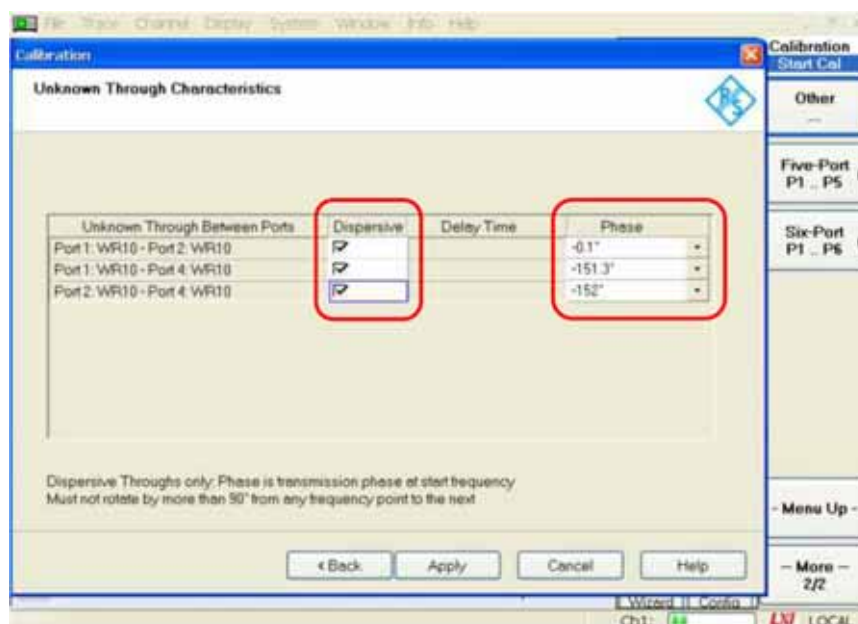


図 4.9 *Unknown Through Characteristics* のダイアログ

Unknown Through スタンダードに対して示される位相値は、 180° 変わる可能性があります。(ネットワーク・アナライザでは、各 *Unknown Through* スタンダードに対して位相の近似値が 2 つ示されます。) 基本測定では、H 面バンドに対し、 75 GHz で -151.5° の位相値が測定されました。図 4.7 に示されているダイレクト *Through* に対しては、 0° の位相値を推定することができます。図 4.9 に示されているダイアログでは、それによって位相値が選択されています。

ステップ 5： 被測定物 (DUT) の接続と測定の実行

図 4.5 に示されているように被測定物を接続します。重要なテスト・パラメータは、被測定物の導波管の各ポートでのリターン・ロスです。リターン・ロスの測定結果は、3つのトレース (S_{11} 、 S_{22} 、および S_{44} 、図 4.10 参照) によって R&S®ZVT20 に表示されます。測定結果は、Limit Lines 機能によってあらかじめ設定しておいたリミット値 (この例では 26 dB の位置に挿入された赤色のライン) に適合しているか、自動的にチェックさせることができます。



図 4.10 指向性カブラの全ポートに対するリターン・ロスの自動リミット・チェック

そのほかに測定する値は、指向性カブラの挿入損、結合損、および分離度です。挿入損 (S_{21}) は指向性カブラの直接信号パスに発生する損失 (図 4.11 の) を表し、結合損 (S_{41}) は結合パスで発生する損失 (図 4.11 の) を表します。必要な結合効果のほかに不要なクロストーク (図 4.11 の) もあり、 S_{42} によって特徴が示されます。クロストーク・パスについては、分離度をできるだけ高くする必要があります。

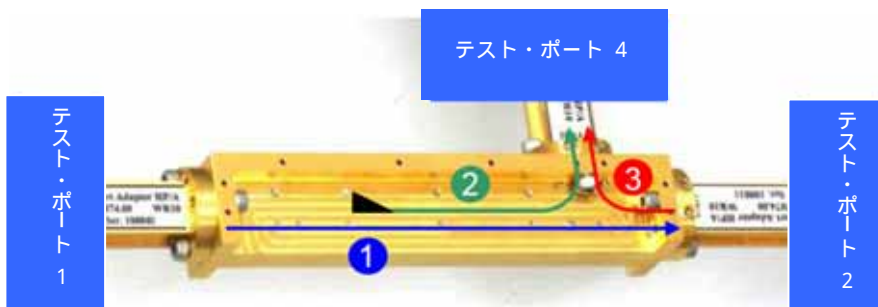


図 4.11 指向性カブラの信号パス

指向性カブラの分離度特性が、別の結合損によってより明確に比較できるように、方向性 (D) が導入されました。方向性は、(必要な) 結合効果 (S_{41}) に対する (不要な) クロストーク (S_{42}) の比率を表します。この比率は、トレース計算機能を使用し、図 4.12 に示されている Trc3 と Trc2 のトレースから計算することができます。このダイアグラムではリミット・ラインは使用されていません。ダイアグラムが非常に煩雑になるためです。結合効果 (図 4.11 の) は、実際には狭帯域です。この結合効果を導波管の帯域幅全体に広げるためには、指向性カブラに特殊な設計が必要です。この機能は被測定物で実現されており、結合効果は 1 dB 未満の偏差で導波管帯域全体に現れます。(図 4.12 のマーカ値参照)



図 4.12 被測定物の挿入損、結合損、分離度、および方向性

4.2 マジック T に対する S パラメータ測定

測定作業：

第 2 の測定作業では、4 ポート・ネットワーク・アナライザ R&S®ZVA24、シグナル・ジェネレータ R&S®SMF100A、および 4 台のコンバータ R&S®ZVA-Z110 を使用します。このアプリケーション・ノートの表紙の写真を参照してください。あるいは、4.1 の項で説明した試験システムを使用してこの測定を行うこともできます。被測定物は 4 ポートのマジック T です。このマジック T は 75 GHz ~ 95 GHz の周波数範囲で動作し、たとえばコンバイナとして使用することができます。このマジック T の動作の原理は、E フィールドを考察することによって説明できます。

- *Ph. 2* と *Ph. 4* の物理ポートに同じ位相で E フィールドが入力されると (図 4.13a)、ポート 3 の導波管接合で、E フィールド・ベクトルが両方のパワーを結合する形で重なり合います。言い換えると、ポート 3 に最大の信号電力が出力されます。他方、ポート 1 の出力では、2 つの E フィールド・ベクトルによって形成された差分ベクトルが確認されます。*Ph. 2* と *Ph. 4* から同じパワーが入力されると、2 つのベクトルが互いに相殺し合い、言い換えると、ポート 1 にはパワーは出力されません。
- *Ph. 2* と *Ph. 4* の物理ポートに正反対の位相で同じパワーの E フィールドが入力されると (図 4.13b) E フィールド・ベクトルが両方のパワーを相殺する形で重なり合います。言い換えると、ポート 3 への出力信号はなく、ポート 1 では最大可能差分ベクトル (信号電力の最大値) が確認されます。
- これらの特性から、ポート 1 とポート 3 は、それぞれ ポートまたは ポートとも呼ばれています。

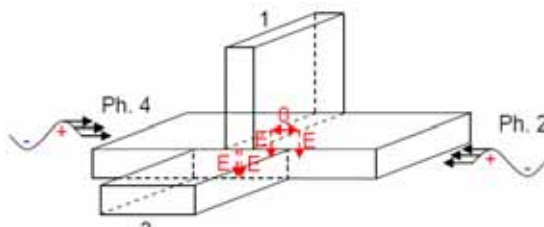


図 4.13a コモン・モード信号発生時のマジック T

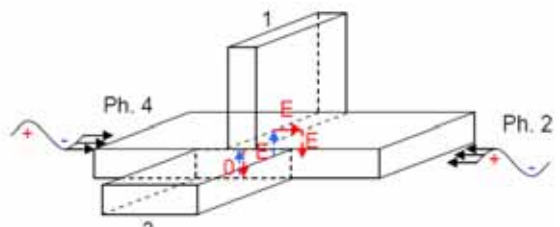


図 4.13b ディファレンシャル・モード信号発生時のマジック T

物理ポートの *Ph. 2* と *Ph. 4* の組合せでバランス・ポートが形成されたとすると、ポート *Ph. 2* と *Ph. 4* の平衡形の組合せのコモン・モード成分はポート 1 に出力され、ディファレンシャル・モード成分はポート 3 に出力されます。この測定によって、上記で説明したマジック T の動作を検証します。

ステップ1: 外部ジェネレータの同期とリモート・コントロール

R&S®ZVA24 を R&S®SMF100A ジェネレータの 10 MHz の基準信号と同期させます。測定時に L0 周波数を追跡調査する必要があるため、ジェネレータ(コンバータの L0 周波数を出力)とネットワーク・アナライザとの間にリモート接続が必要です。この例では、オプションの R&S®ZVAB-B44(USB - IEC/GPIB アダプタ)と R&S®SMF-B83(交換可能 GPIB)を使用し、IEC/GPIB バスによってリモート接続が確立されます。¹⁾ 接続が終了したら、*Refresh Tables*によって、*System / System Config / External Generators*でネットワーク・アナライザのジェネレータを検出し、*Add v*によって、設定済みのジェネレータのリスト (*Configured:*) に加えることができます。

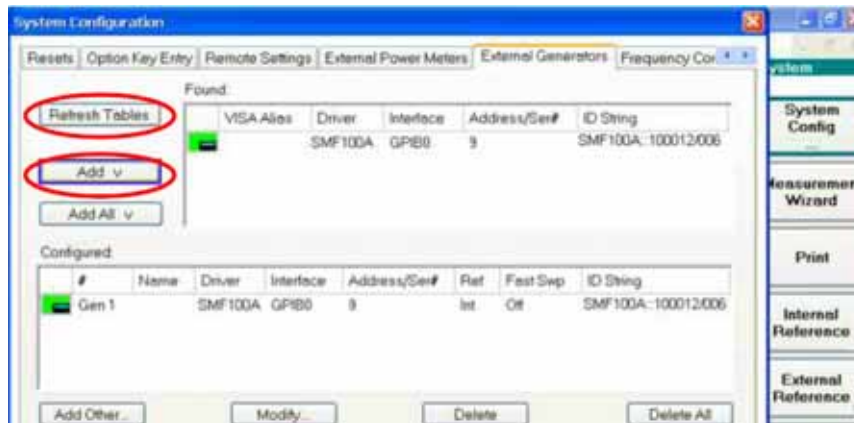


図 4.14 外部ジェネレータの検出と追加

ステップ2: コンバータの設定

コンバータは、*System / System Config / Frequency Converter* (図 4.15) で設定します。コンバータの型式(この例では ZVA-Z110)とケーブルの接続方法(この例では内蔵の RF と外付けの L0 (*RF intern, L0 extern*))を選択します。*Apply*によって設定を起動し、*Close*によってダイアログを終了します。

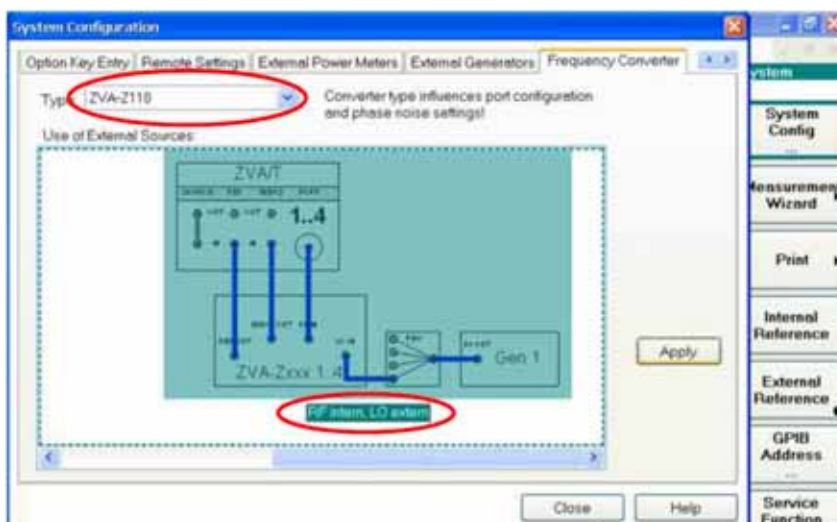


図 4.15 R&S®ZVA によるコンバータの設定

1) ジェネレータとネットワーク・アナライザを接続するときに、IEC/GPIB 接続の代わりに、LAN 接続を使用することができます。この場合には、R&S®ZVAB-B44 と R&S®SMF-B83 は必要ありません。外部ジェネレータをコントロールする場合には、ネットワーク・アナライザ内蔵のジェネレータの場合より時間がかかります。周波数掃引時のジェネレータのトラッキング時間を短縮するために、既存のリモート・コントロール接続に加えて、ジェネレータの TRIGGER と BLANK のハンドシェイク信号を R&S®ZVA USER CONTROL のポートに入力することができます。その結果、掃引実行時に LIST 機能を使用することができます。この機能を使用すると、掃引開始の前にリモート接続(GPIB または LAN)を経由して、ネットワーク・アナライザからジェネレータに対してすべての周波数ポイントが転送されます。周波数掃引(または周波数掃引の繰返し)時には、ハンドシェイク信号は次の周波数ポイントへの切換え専用で使用されます。

ステップ3：コンバータの接続

ジェネレータは LO 信号を出力し、この信号はフォーウェイ・パワー・スプリッタによって、LO INとしてすべてのコンバータに分配されます。ネットワーク・アナライザのテスト・ポート1～4は、コンバータに対し、測定の方向に従って、1度に1つずつコンバータに RF 信号が入力されるように RF 信号を出力します。コンバータからの IF 信号は、R&S®ZVA24 の8つのダイレクト・レシーバ入力(4× REF IN、4× MEAS IN)に送られます。

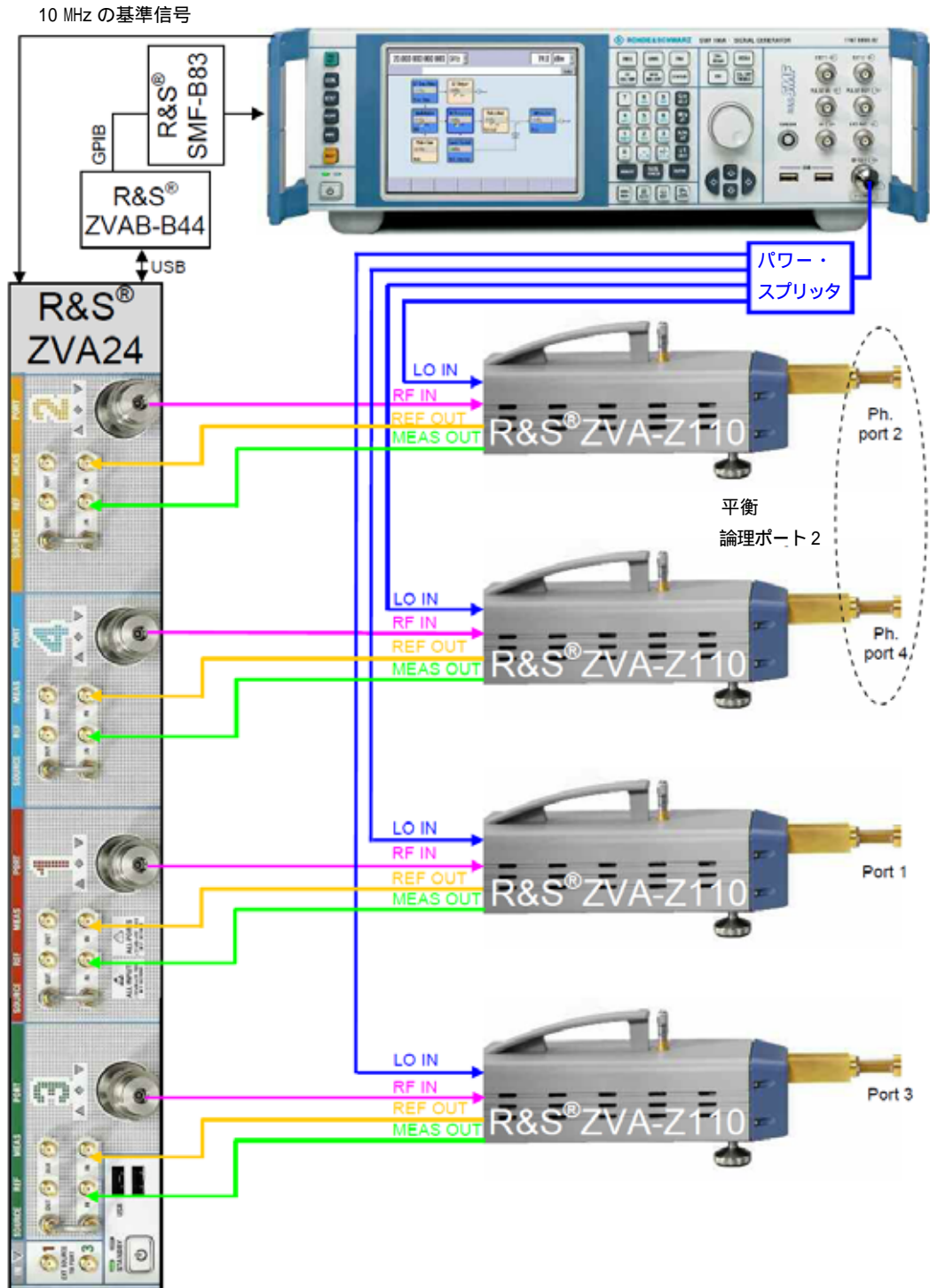


図 4.16 R&S®ZVA24 と 4 台の R&S®ZVA-Z110 コンバータのケーブル接続方法

ステップ4： パワーの設定

R&S®ZVA-Z110 コンバータに最適な LO 入力パワーは 7 dBm です。コンバータが 1 つだけで、したがってパワー・スプリッタのない試験システムを構成することもできるため、ジェネレータの出力パワーはステップ 2 で自動的に 7 dBm に設定されます。ただし、ここで説明する 4 台のコンバータによる構成では、フォーウェイ・パワー・スプリッタについて 12 dB の挿入損を考慮する必要があります。したがって、ジェネレータの出力パワーを 19 dBm に上げなければなりません。この変更は、R&S®ZVA の *Mode / Port Config* で行うことができます。¹⁾

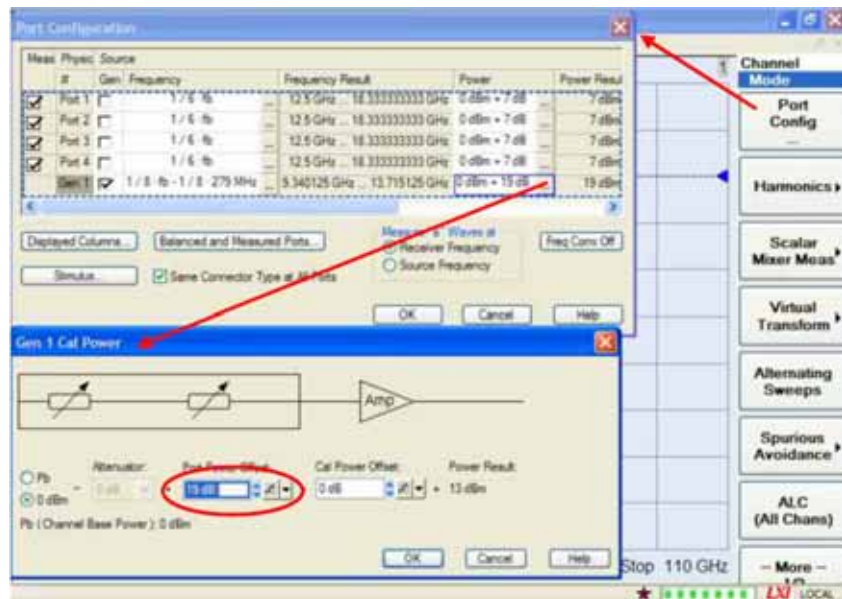


図 4.17 ジェネレータの出力パワーの変更

ジェネレータの出力パワーのほかに、コンバータについている導波管のテスト・ポートの出力パワーを設定する必要があります。この設定には、各コンバータの上についているパワー調整のネジを使用します。(図 4.18) ここで測定するパッシブ DUT については圧縮効果を排除することができるため、テスト・ポートの最大出力パワーを使用します。パワー調整ネジの全設定を >2 mm にすると、出力パワーは最大になります。4 台すべてのコンバータの出力パワーを最大に設定します。



図 4.18 パワー調整ネジ

R&S®ZVA24 によって 1 kHz または 100 Hz の測定帯域幅を選択します。

ステップ5： ミックス・モード測定に対応するテスト・ポートの設定

ここまでの設定では、導波管の 4 つのテスト・ポートは、シングルエンド・ポート(アンバランス・ポート)として扱われます。物理ポート 2 と 4 を組み合わせて平衡論理ポートにするためには、*Balanced and Measured Ports* のダイアログ(図 4.19)を使用します。このダイアログは、*Meas / More S-Params / Balanced and Measured Ports* の手順でオープンすることができます。

1) ジェネレータの出力パワーは、ここで説明されている挿入損のパワー・スプリッタが使用されている場合にかぎり、上記の値まで上げることができます。ジェネレータの LO 信号を分配するために挿入損の小さな Wilkinson 分周器を使用する場合には、入力パワーが大きくてコンバータにダメージを与えることのないように、低い電力値を選択する必要があります。

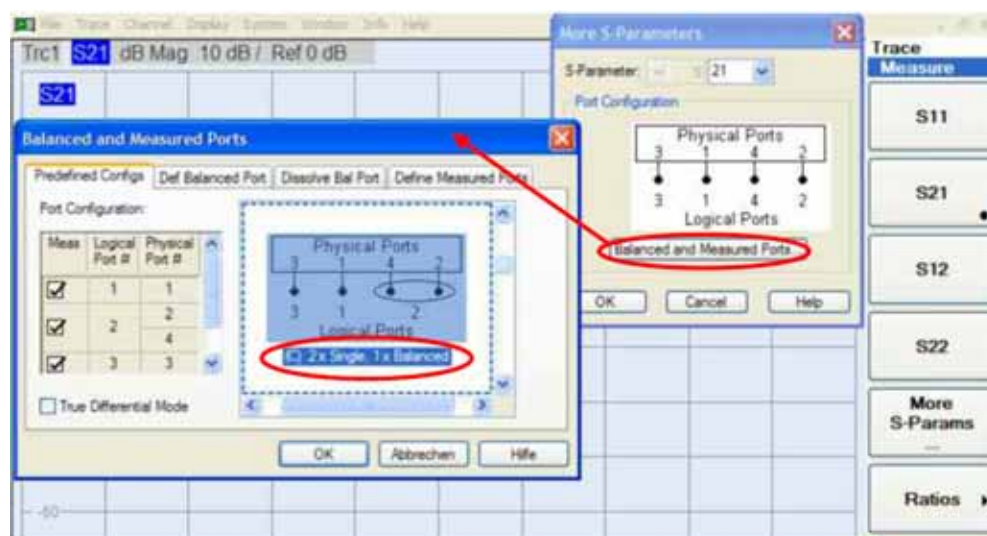


図 4.19 ポート 2 と 4 をバランス・ポート 2 として設定する場合

Predefined Configs のタブを使用し、図 4.19 に示されている設定を選択します。測定は、仮想ディファレンシャル・モードで実行されます。このモードでは、実際には、ネットワーク・アナライザによって S パラメータのシングルエンド測定が実行されます。したがって、そのメリットとして、使用経験がある導波管のキャリブレーション・スタンダードを使用して校正 (ステップ 6) を行うことができます。S パラメータは、測定結果を表示するためにだけバランス測定値に変換されます。測定値として S_{sd12} 、 S_{sc12} 、 S_{sd32} 、および S_{sc32} の S パラメータを選択します。必要に応じて、*Trace Select / Add Trace* によってこれらのパラメータに対応するトレースを作成します。

ステップ 6: 校正 (キャリブレーション)

S パラメータ測定を実行するときに確実にシステム・エラーを避けるために、試験システムは校正しなければなりません。校正には、R&S®ZV-WR10 のキャリブレーション・キットを使用します。図 4.6 (P11) に示されているダイアログをオープンします。*Calibrate Ports* の項目で、テスト・ポート 1 ~ 4 を選択します。校正技術として UOSM を選択します。この理由については、4.1 の項のステップ 3 (P10 の最後のパラグラフ) に説明してあります。図 4.7 に示されている 1 ポート・キャリブレーション・スタンダードを、4 つのテスト・ポートのそれぞれに、一度に 1 つずつ取りつけて測定します。1 ポート・スタンダードには *Short*、*Offset Short* (*Short* と *Shim* の構成) および *Fixed Match* があります。

物理テスト・ポート 2 と 4 の間のダイレクト *Through* は、導波管の 2 つのテスト・ポート同士を直接ネジで留めて設定します。(図 4.7 参照)

物理テスト・ポート 4 と 3 および 3 と 2 の間の *Through* スタンダードは、図 4.8 a/b に示されているように、H 面ベンドを使用して設定することができます。

物理テスト・ポート 4 と 1 および 2 と 1 の間の *Through* スタンダードは、E 面ベンドによって設定します。次の図 4.20a と図 4.20b の赤色の矢印から、2 つの *Through* スタンダードが同じでないことがわかります。E 面ベンドを使用すると、それぞれ +90° と -90° 偏波が回転することになります。したがって、テスト・ポート 1 で確認される偏波方向は 180° 異なっています。しかし、導波管のキャリブレーション・スタンダードでは、試験システムのすべてのスタンダードに対して基準面が固定されている必要があるだけでなく、偏波方向が同一という条件も満たさなければなりません。¹⁾

1) 例: 同軸キャリブレーション・スタンダードの場合にはフィールドが放射対称であるため、偏波方向が同一という条件が自然に満足されます。したがって、同軸スタンダードの場合には、この条件は未知です。

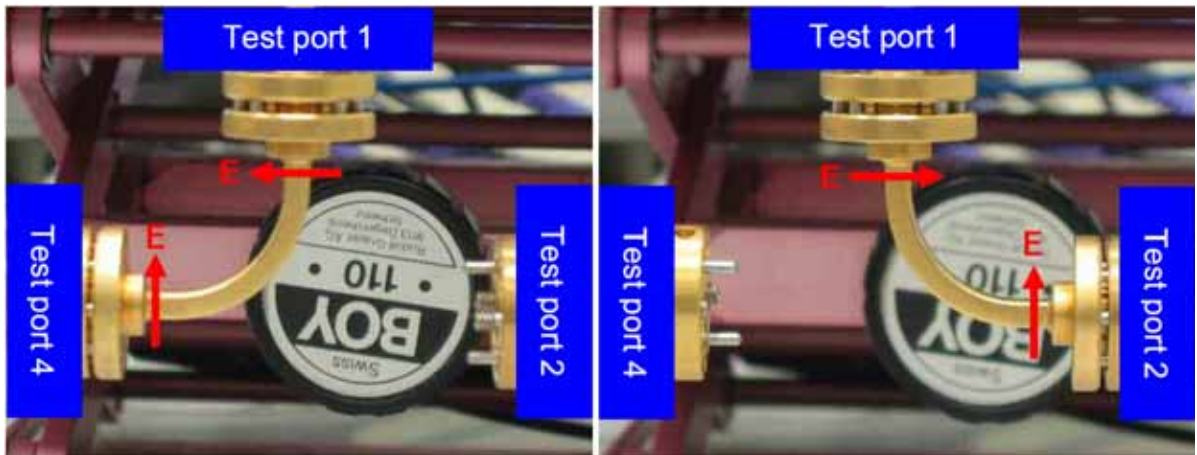


図 4.20a ポート 1 と 4 の間の Through スタンド

図 4.20b ポート 1 と 2 の間の Through スタンド

図 4.20a と図 4.20b に示されている Through スタンドは、同一の偏波方向という条件に違反しています。これを改善するためには、基本的に次の 3 つの方法があります。

- テスト・ポート 2 を 180° 回転させる方法。この場合には、対応する R&S®ZVA-Z110 コンバータを上下逆さまに置く必要があります。
- 図 4.20b の Through スタンドを 180° のツイストによって補足する方法
- 校正測定から誤差項を評価するとき、偏波の回転を周波数に無関係の 180° の位相オフセットとして考慮する方法

最初の 2 つの方法は、機械上の理由で使用することはできません。導波管の校正に UOSM 技術を使用すると、4.1 の項のステップ 4 で説明したように、180° の位相に固有のあいまいさがあります。したがって、図 4.21 のダイアログにリストされている Through スタンドすべてに対して、Dispersive を起動する必要があります。(理由については P12 の図 4.9 に対する説明を参照) 校正測定がすべて終了すると、ダイアログが現れます。

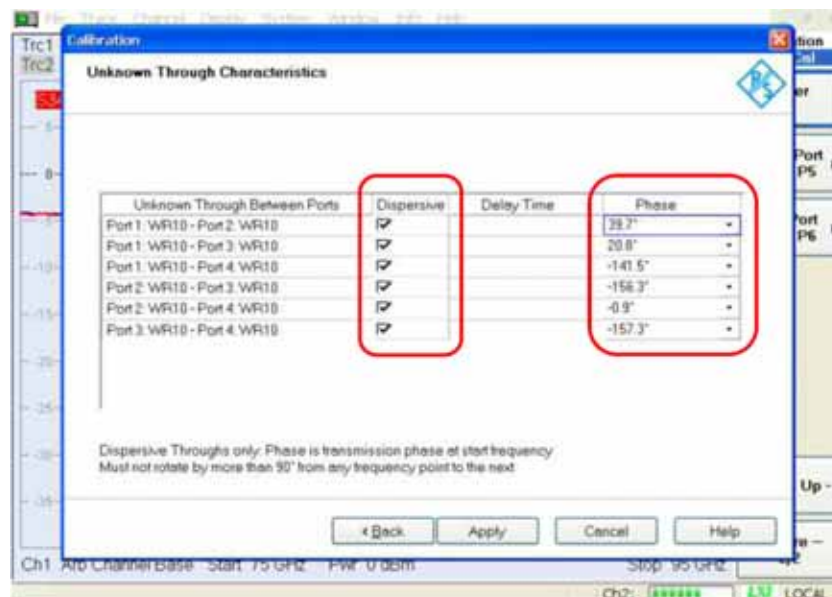


図 4.21 Unknown Through Characteristics のダイアログ

各 Unknown Through に対して、表示される 2 つの位相値から適切な値を選択します。校正の済んだ 2 ポートの試験システムを使用した基本測定では、75 GHz で、Through 1-3 では 20°、Through 1-4 では -140°、Through 2-3 では 157° の位相値が測定されました。

値の中には推論によって導き出すことができるものもあります。たとえばポート 2 と 4 の間のダイレクト *Through* (図 4.7) の場合には、位相値は 0° です。ポート 1 と 4 および 1 と 2 の間の *Through* スタンドの場合には、上記で説明した偏波の回転が原因で、 180° の位相差が測定されるはずですが。ポート 2 と 3 および 3 と 4 の間の *Through* スタンドの場合には、同じ位相値が測定されるはずですが。

ステップ 7: 被測定物 (DUT) の接続

図 4.22 に示されているように、設定と校正の済んだテスト・ポートの間にマジック T を取りつけます。

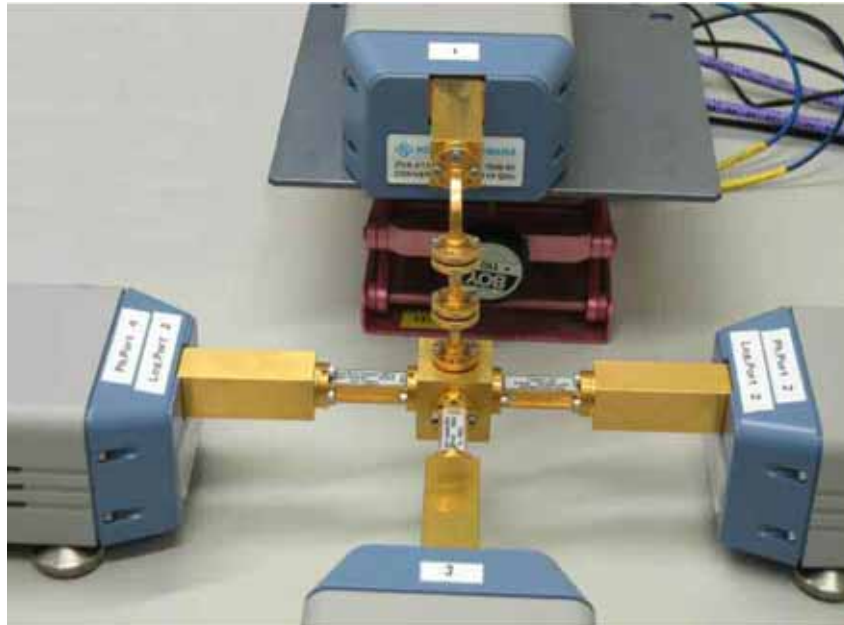


図 4.22 被測定物 (DUT) が装着された試験システム

ミックス・モード S パラメータ S_{sd12} 、 S_{sc12} 、 S_{sd32} 、および S_{sc32} の測定結果によって、予想される動作の大部分が実証されます。

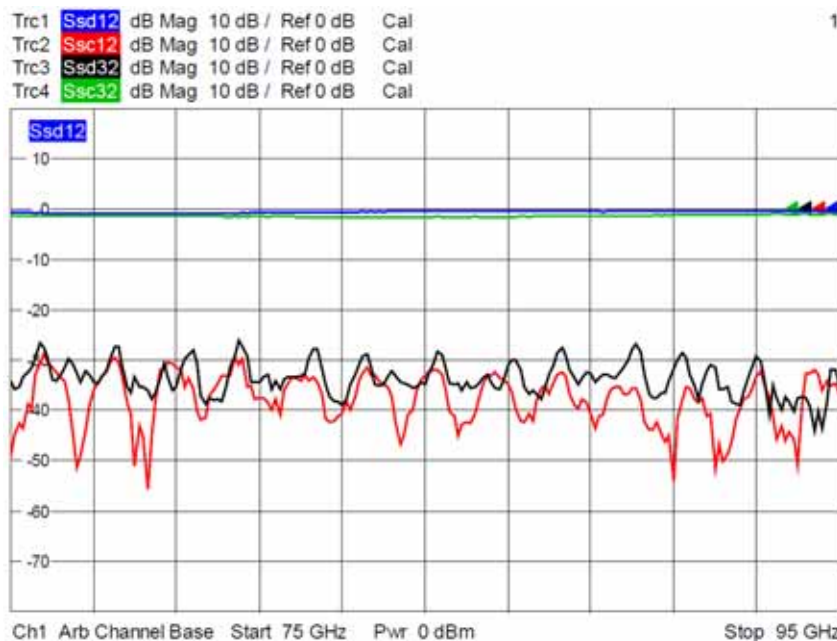


図 4.23 ミックス・モード S パラメータ S_{sd12} 、 S_{sc12} 、 S_{sd32} 、および S_{sc32} の測定結果

マジック T はまったく損失のない状態では実装できないこと (S_{sd12} と S_{sc32} についてほぼ 1 dB の損失を測定) およびモード変換後に示された (不要な) 測定値 S_{sd32} と S_{sc32} の抑圧にはかなり限界があることが明らかになりました。ミックス・モード・パラメータに加えて、シングルエンド測定をベースにした S パラメータ、たとえばアンバランス・ポート 1 と 3 の間の分離度、またはアンバランス・ポート 1 と 3 それぞれのリターン・ロスなども測定の対象です。

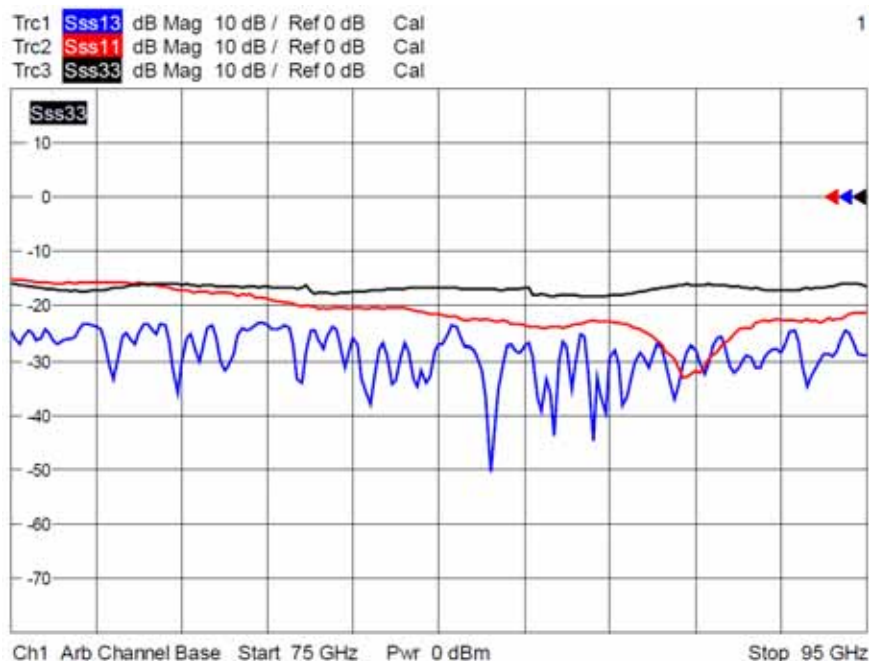


図 4.24 選択したアンバランス測定の結果：ポート 1 と 3 の間の分離度とポート 1 と 3 のマッチング

5. 参考資料

5.1 測定例を正確に再現するために

以下の内容は、ここで紹介した測定例をユーザができるだけ正確に再現できるように、またエラーを発生させないようにバックアップするものです。本機に関連する他の文書に代わるものではありません。

- 導波管のフランジは、たとえばフランジ同士を合わせるために曲げるなど、不適切に扱うと損傷する可能性のある高精度の機構部品です。したがって、必ず、試験装置は平らで安定した面にセットアップしてください。フランジは、取りつける前に、互いに適切な位置に合わせておかなければなりません。
- コンバータは、入力パワーが最大許容値を超える状態で操作しないでください。コンバータが損傷する可能性があります。したがって、RF と LO をコンバータに接続する前に、最大入力電力の仕様値を超えていないか確認してください。コンバータを接続する前に、“*Frequency Converter*” の設定用ダイアログ (図 4.2 参照) で、必ず、正確なコンバータの型式とケーブル接続方法を選択し、“*Apply*” でその設定を起動しておく必要があります。
- コンバータは、周波数で 1 倍の原理に基づいて動作します。RF 信号と LF 信号の周波数のほかに、これらの信号の位相誤差もすべて 1 倍されます。位相誤差は、たとえば、RF 接続や LO 接続に不適切なケーブルが使用された結果発生することがあります。対照的に、約 300 MHz の周波数の IF 信号は、この点ではそれほど重要ではないと考えることができます。

- そのほか避けることができる位相誤差の原因としては、同軸コネクタの取付けが適切でない場合があげられます。したがって、コネクタの装着には適切なトルク・レンチを使用してください。
- 温度が不安定な場合には同軸ケーブル (RF、LO) と導波管素子の長さが膨張するため、どうしても位相に変動が生じます。したがって、高精度のミリ波測定を行うときには、徹底して温度を安定させることが重要です。

5.2 代表的な導波管セクション

次の表には、代表的な導波管セクションと導波管コンポーネントを示してあります。



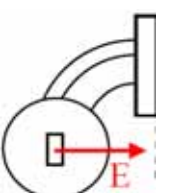
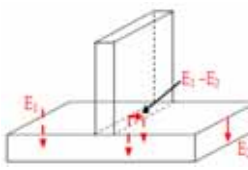
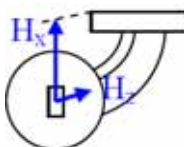
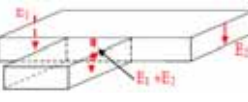
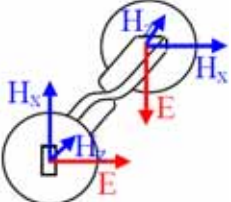
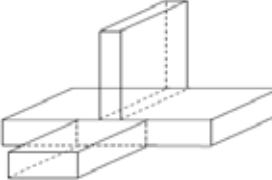
2 ポート		マルチポート	
名称 / 図	説明	名称 / 図	説明
直線部分 	長さは、通常、インチの単位の整数値で示されます。 例：1 in (25.4 mm) 2 in (50.8 mm) など	指向性カブラ 	導波管技術では、指向性カブラは、たとえばマルチホール・カブラとして実装することができます。その他の形式、たとえばクロスガイド・カブラなども導波管技術ではよく見かけられます。
E 面バンド (90°) 	E 面バンドは、導波管の広い方の側面に沿って曲げられています。	E 面 T 	E 面 T の場合には、導波管の広い方の側面で信号が結合されます。
H 面バンド (90°) 	H 面バンドは導波管の狭い方の側面に沿って曲げられています。	H 面 T 	H 面 T の場合には、導波管の狭い方の側面で信号が結合されます。
ツイスト (90°) 	ツイストを使用すると、導波管の断面が、たとえば 90° 回転されます。断面とともに、導波管内部の電磁界の成分も回転されます。	マジック T 	マジック T は、E 面 T と H 面 T の組合せです。(4.2 の項の測定例もあわせて参照のこと)

表 5.1 代表的な導波管セクション

“E 面バンド/T” と “H 面バンド/T” の名称は、導波管内部の電界 (E フィールド) または磁界 (H フィールド) の方向に基づいています。これを説明するために、E フィールド・ラインと H フィールド・ラインをいくつか選択して、図の中に矢印で示してあります。E フィールドと H フィールドは位置や時間で変化するため、これらのフィールド・ラインは例にすぎません。さらに、導波管は、それぞれ本来の周波数範囲で動作するようになっています。E 面 T と H 面 T の特性は、E フィールドをベースに説明することができます。したがって、E 面 T は直列接続と同じで、H 面 T は並列接続と同じです。これらの特性が原因で、上記の表に示されている E 面 T、H 面 T、およびマジック T は、通常、それぞれのポートで不整合による誤差を示します。この不整合による誤差は、導波管の設計を変更することによって減らすことができます。

6. 参考文献

- [1] “ R&S®ZVA-Z110 Converter WR10 Specifications ”(R&S®ZVA-Z110 コンバータ WR10 の仕様書) Rev. 01.00 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG、2007 年 6 月発行
- [2] “ ALMA Memo No.278 : Waveguide Flanges for ALMA instrumentation ” (ALMA メモ No. 278 : ALMA 計測用の導波管フランジ) A. R. Kerr、E. Wollack、および N. Horn 著、ALMA/National Radio Astronomy Observatory、1999 年 11 月発行
- [3] “ Quick Start Guide: R&S®ZVA-Z110 Converter WR10 ” (クイック・スタート・ガイド : R&S®ZVA-Z110 コンバータ WR10) Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG、2007 年 6 月発行
- [4] “ Fundamentals of Vector Network Analysis ” (ベクトル・ネットワーク解析の基礎知識) Michael Hiebel、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG、第 2 版、2007 年発行、ISBN 978-3-939837-06-0
- [5] “ Application Note 1EZ55: Multiport Millimeter-Wave Measurements Using Converters of R&S®ZVA Family ” (アプリケーション・ノート 1EZ55 : R&S®ZVA 系列のコンバータによるミリ波測定) Michael Hiebel、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG、2007 年発行

7 オーダー情報

4.1 の測定例

3	コンバータ WR10	R&S®ZVA-Z110	75 GHz ~ 110 GHz	1307.7000.02
6	テスト・ポート・ケーブル 965 mm、3.5 mm(f)/3.5 mm (m)	R&S®ZV-Z193	0 Hz ~ 26.5 GHz	1306.4520.36
1	導波管キャリブレーション・キット WR10	R&S®ZV-WR10	Sliding Match なし	1307.7100.10
1	ベクトル・ネットワーク・アナライザ 20 GHz、2 ポート	R&S®ZVT20		1300.0000.20
1	R&S®ZVT20 用追加ポート 3 (オプション)	R&S®ZVT20-B63		1300.1606.03
1	R&S®ZVT20 用追加ポート 4 (オプション)	R&S®ZVT20-B64		1300.1606.04
1	R&S®ZVT20 用追加ポート 5 (オプション)	R&S®ZVT20-B65		1300.1606.05
1	R&S®ZVT20 用追加ポート 6 (オプション)	R&S®ZVT20-B66		1300.1606.06
1	ポート 1 用ダイレクト・ジェネレータ/ レシーバ・アクセス (オプション)	R&S®ZVT20-B16		1300.1635.11
1	ポート 2 用ダイレクト・ジェネレータ/ レシーバ・アクセス (オプション)	R&S®ZVT20-B16		1300.1635.12
1	ポート 3 用ダイレクト・ジェネレータ/ レシーバ・アクセス (オプション)	R&S®ZVT20-B16		1300.1635.13
1	ポート 4 用ダイレクト・ジェネレータ/ レシーバ・アクセス (オプション)	R&S®ZVT20-B16		1300.1635.14
1	コンバータ制御用ソフトウェア (オプション)	R&S®ZVA-K8		1307.7022.02

そのほかに必要な機器 :

Wilkinson 分周器、SMA/3.5 mm、最小周波数範囲 9GHz ~ 14GHz (例 : MECA Electronics model 802-2-10.500-M01、または MECA Electronics model 802-2-11.500-M01、または同様の製品)

4.2 の測定例

4	コンバータ WR10	R&S®ZVA-Z110	75 GHz ~ 110 GHz	1307.7000.02
8	テスト・ポート・ケーブル 965 mm、3.5 mm(f)/3.5 mm (m)	R&S®ZV-Z193	0 Hz ~ 26.5 GHz	1306.4520.36
1	導波管キャリブレーション・キット WR10	R&S®ZV-WR10	Sliding Match なし	1307.7100.10
1	ベクトル・ネットワーク・アナライザ 24 GHz、4 ポート	R&S®ZVA24	10 MHz ~ 24 GHz	1145.1110.26

R&S®ZVA 系列のコンバータによるマルチポート・ミリ波測定

1	ダイレクト・ジェネレータ/レシーバ・アクセス (オプション)	R&S®ZVA24-B16		1164.0209.26
1	コンバータ制御用ソフトウェア (オプション)	R&S®ZVA-K8		1307.7022.02
1	USB-IEC/GPIB アダプタ (オプション)	R&S®ZVAB-B44		1302.5544.02
1	マイクロ波シグナル・ジェネレータ	R&S®SMF100A		1167.0000.02
1	周波数範囲 1 GHz ~ 22 GHz (オプション)	R&S®SMF-B122	1 GHz ~ 22 GHz	1167.7004.02
1	高出力パワー 1 GHz ~ 22 GHz (オプション)	R&S®SMF-B31	1 GHz ~ 22 GHz	1167.7404.02
1	交換可能 GPIB (オプション)	R&S®SMF-B83		1167.6408.02

そのほかに必要な機器：

フォーウェイ・パワー・ディバイダ (電力分配器) SMA/3.5mm (例：Weinschel/Aeroflex model 1594A) または 3 × 2 ポート・パワー・スプリッタ (例：3 × Weinschel/Aeroflex model 1579)。これら 3 つの 2 ポート・パワー・スプリッタの場合は、最初のパワー・スプリッタの 2 つの出力が他の 2 つのパワー・スプリッタに信号を送るように従属接続します。

オーダー情報に関する注意

補強されたコネクタのついたケーブル (例：R&S®ZV93、1301.7595) の場合にはコネクタのサイズが大きいため、R&S®ZVA と R&S®ZVA-Z110 コンバータの接続には使用できません。



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

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。