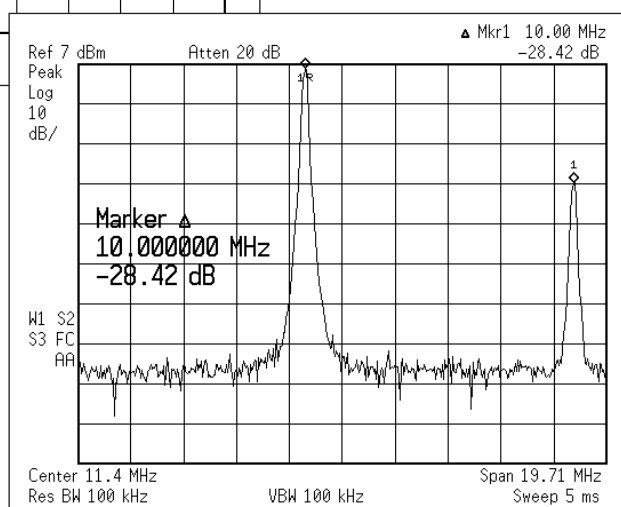
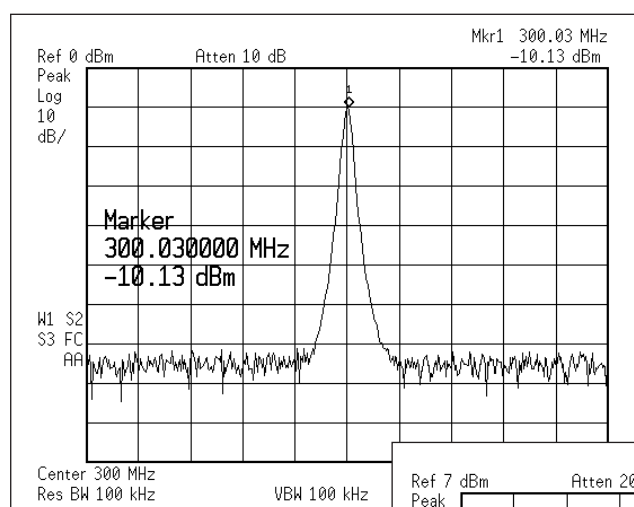


# Agilent AN 1316

## スペクトラム・アナライザの 振幅確度の最適化

Application Note



RF/マイクロ波スペクトラム・アナライザ



Agilent Technologies

# 目次

3	はじめに
3	絶対測定と相対測定
4	測定の不確かさに影響を与える要因
4	不確かさの原因
5	相対振幅の不確かさの要因
7	絶対振幅の不確かさの要因
8	全不確かさの計算
8	例
13	誤差
13	全体の振幅確度
14	全体の不確かさの低減
16	まとめ
16	参考文献

## はじめに

このアプリケーション・ノートでは、スペクトラム・アナライザの振幅測定精度（不確かさ）に影響を与えるさまざまな要因を取り上げ、一般的な状況におけるワーストケースの不確かさの計算方法を説明します。問題の解析や全体の不確かさを最小限に抑えるための手順を決める場合に役立ちます。また、スペクトラム・アナライザを選択する場合に考慮すべき最も重要な精度に関連した特長および仕様についても説明します。このアプリケーション・ノートでは、雑音、パルスドRF、EMIなどの、この他の不確かさの原因となる特殊な信号の測定手順については説明していません。追加資料については、「参考文献」を参照してください。

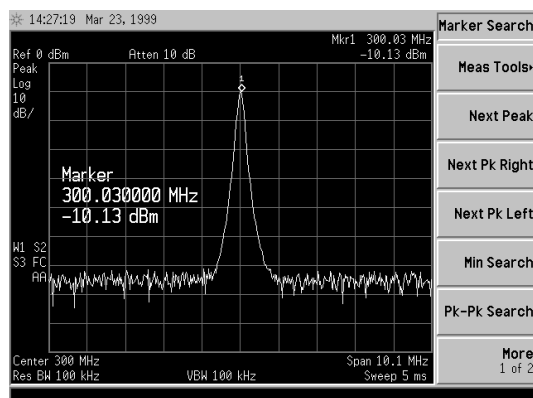


図1. 絶対測定（1つの信号レベルを単一マーカで測定）

## 絶対測定と相対測定

振幅測定には、絶対測定（図1）と相対測定（図2）があります。信号のパワーレベルや電圧レベルは絶対振幅です。例えば、搬送波のパワー・レベル（dBm）測定は絶対測定です。相対振幅は、2つのレベル間の差で、dBで表されます。相対測定では、1つの信号または信号成分が基準として用いられます。例えば、高調波歪み測定では基本波が基準として用いられ、高調波は通常dBc（搬送波レベルを基準にしたdB値）で測定されます。ほとんどのスペクトラム・アナライザのアプリケーションには、相対振幅測定が含まれています。

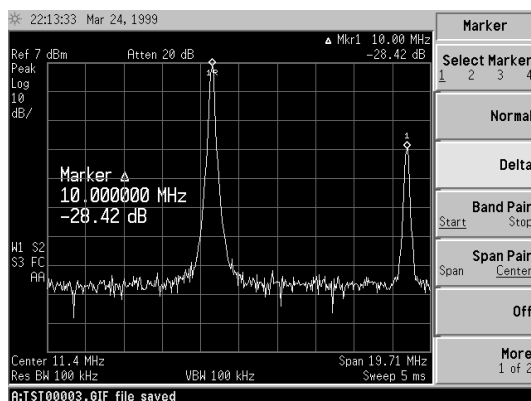


図2. 相対測定（2つの信号レベル間の差をデルタ・マーカで測定）

# 測定の不確かさに影響を与える要因

まず、測定の不確かさに影響を与える要因について検討します。後半の各セクションでは、これらの要因を1つ1つ検討することによって、振幅測定の不確かさの計算方法、最高の測定確度を得るための方法を紹介します。

## 不確かさの原因

図3の簡略化したブロック図は、代表的なスペクトラム・アナライザの構成要素を示したものです。これらの要素の一部が、振幅測定の不確かさの原因となる可能性があります。このアプリケーション・ノートでは、これらの原因を振幅の不確かさの要因と呼び、ほとんどのスペクトラム・アナライザで仕様化されています。

表1に、代表的なスペクトラム・アナライザの振幅の不確かさの要因をリストします。各要因の値の範囲は、さまざまなスペクトラム・アナライザをカバーしています。ほとんどのスペクトラム・アナライザに、絶対的な不確かさと相対的な不確かさの両方の仕様ががあります。相対的な不確かさは相対測定と絶対測定の両方の確度に影響を与えるので、まず相対測定の不確かさに影響を与える要因について説明します。

表1. 振幅の不確かさの要因

相対	±dB
周波数応答（フラットネス）	0.5～4
バンドの切り替え	0.5～1
スケール忠実度	0.5～2
基準レベル（IF利得）	0.1～1
入力アッテネータの切り替え	0.5～2
分解能帯域幅の切り替え	0.1～1
表示スケールの切り替え	0.0～1
絶対	
周波数応答	0.5～4
校正器	0.2～1

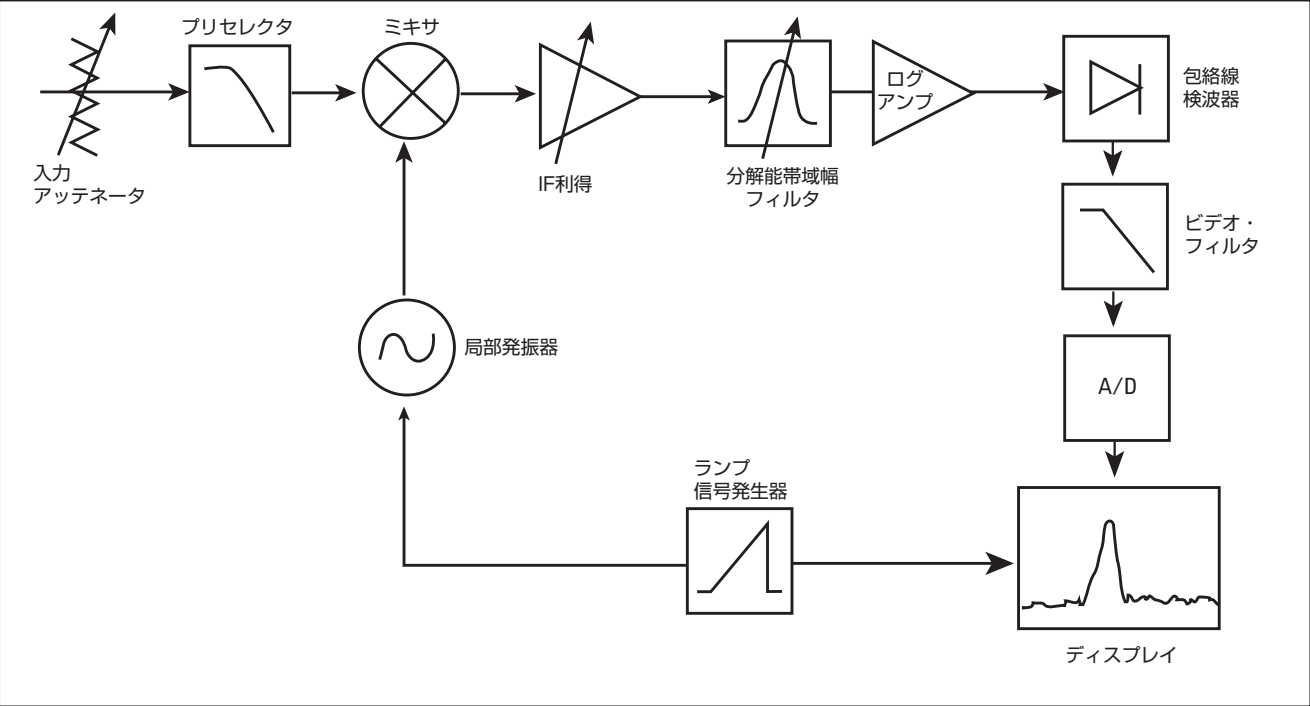


図3. 代表的なスーパーヘテロダイン・スペクトラム・アナライザの構成要素

## 相対振幅の不確かさの要因

### 周波数応答（フラットネス）

周波数応答の不確かさ（フラットネス）は、仕様周波数レンジ（バンドとも呼ばれる）の不確かさの範囲を表します。図4を参照してください。

多くの場合、スペクトラム・アナライザの周波数応答が、不確かさの最大の原因となっています。これは、入力アッテネータのフラットネス、ミキサの変換損失、プリセクタのフラットネス（該当する場合）によって決まります。周波数応答は、さまざまな周波数の信号の表示振幅に影響を与えます。周波数応答は、周波数レンジに依存し、与えられたアッテネータ設定で周波数レンジ（通常は高調波バンド）にわたって $\pm n$  dBとして仕様化されます。

周波数応答の不確かさは通常、相対測定と絶対測定の両方に対して仕様化されています。周波数応答の相対的な不確かさは、与えられた周波数レンジにわたる振幅の最大不確かさを、その周波数レンジ内の振幅応答の両極端間の中間点を基準として表したものです。

与えられた周波数レンジの相対周波数応答仕様は、同じ周波数レンジの絶対周波数応答仕様（以下に定義）を下回る傾向にあります。しかし、バンド内での相対振幅測定の周波数応答の不確かさを求めるには、相対周波数応答仕様を2倍にして、p-p周波数応答を反映する必要があります。このp-p周波数応答の不確かさは、通常、絶対周波数応答仕様より大きくなります。

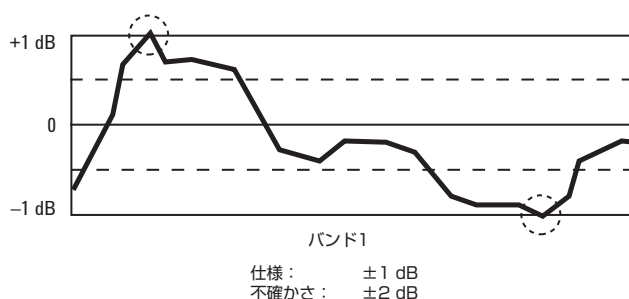


図4. バンド内周波数応答の不確かさ（代表値）

低周波のRFアナライザの周波数応答の相対不確かさは、 $\pm 0.5$  dB程度です。20 GHzレンジに同調したマイクロ波スペクトラム・アナライザの不確かさは、 $\pm 4$  dBを超える場合があります。計算では、周波数応答が振幅の不確かさの全範囲で変化する、ワーストケースの状態を仮定しています。図4に示されているように、ワーストケースの応答は、 $\pm 1$  dBの仕様の場合で、 $+1$  dB $\sim$  $-1$  dBの範囲で変化します。これらの仕様の実際のアプリケーションについては後述します。

スペクトラム・アナライザの中には、プリセクタを「ピーク（最大）」に設定しなければ（Agilent ESAシリーズ・アナライザでは「プリセクタのセンタリング」）、周波数応答の仕様が有効でないものもあります。Agilent 8593E、8595E、8596Eなどの信号振幅を最大にする必要があるスペクトラム・アナライザでは、信号を測定する前にプリセクタのピーク機能を使用することにより、仕様周波数で最も確度の高い振幅測定を実現できます。プリセクタのピーク機能は、プリセクタのトラッキング機能を自動調整して、アクティブ・マーカ位置の信号を最大にします。プリセクタのピーク機能は目的の信号のピーク応答を最大にしますが、他の周波数では周波数応答が劣化する場合があります。このため、別の周波数で信号を測定する場合は、先にプリセクタのピーク値をデフォルトに設定してください。Agilent 8560シリーズなどのいくつかのスペクトラム・アナライザでは、プリセクタをピークに設定する必要はありません。

### バンドの切り替え

入力信号を局部発振器（LO）の高調波とミキシングすることにより、広い周波数レンジでの測定が可能になります。LOの各高調波は、アナライザの全周波数レンジ内に異なる高調波周波数バンドを与えます。異なる高調波バンドの信号を測定する場合は、アナライザのバンド切り替え時に不確かさが追加されます。一部のスペクトラム・アナライザでは、バンドの切り替えポイントは、ノイズ・フロアの不連続部として現われます。測定に複数のバンドが関係するかどうかを確認するには、アナライザの各高調波バンドに関連する周波数レンジの仕様を参照してください。必ずしも仕様化されているとは限りませんが、バンド切り替え時の不確かさの代表値は $\pm 1$  dBです。

### スケール忠実度

スケール忠実度の不確かさは、画面の格子線の垂直位置にある信号を、別の垂直位置にある信号を基準にして測定した場合（例えば、振幅の異なる2つの信号のピークにデルタ・マーカを配置した場合）に適用されます。スケール忠実度は、検波器の直線性、デジタル回路の直線性、ログ／リニアおよび垂直増幅器の、ディスプレイ上でのさまざまな信号電圧を適切な相対パワー（ログ）または電圧（リニア）レベルに変換する性能によって決まります。ほとんどのスペクトラム・アナライザでは、ログアンプの確度は測定範囲の下端近くで低下します。マーカ情報はディスプレイではなくトレース・メモリから得られるので、デジタル・マーカを備えたデジタル手法を採用したアナライザの場合は、ディスプレイ自体が要因にはなりません。

ログ・モードの場合は、スケール忠実度は振幅差が小さいほど高く、振幅差が大きい場合は、数十dB（近接する信号）から2 dBの範囲になります。スケール忠実度仕様の代表値は、 $\pm 0.4$  dB/4 dB $\sim\pm 1.0$  dBです。 $\pm 0.4$  dB/4 dB仕様は、2つの信号の振幅が近い場合に適用されます。累積仕様は振幅差が大きい場合に適用されます。

表1の残りの相対要因は、測定中に変更可能なコントロールに影響を与えます。

### 基準レベル（IF利得）

格子線の一番上のラインで示される振幅が基準レベルで、入力減衰量とIF利得の関数です。基準レベル制御によりIF利得が決まります。特定の基準レベル設定のIF利得量の不確かさは、基準レベル振幅の確度に影響します。基準レベル制御を変更すると、不確かさが生じます。リニア電圧の校正が可能なスペクトラム・アナライザでは、基準レベル制御により、格子線の一番下のラインからの振幅/divのスケールリングが決まります。8560シリーズ・ポータブル・スペクトラム・アナライザの場合は、「IF利得の不確かさ」がこの要因の仕様になりますが、ESAシリーズ／8590シリーズ・アナライザの場合は、「基準レベル確度」がそうです。基準レベルの不確かさ仕様の例は、 $-20$  dBで $\pm 0.3$  dBです。不確かさが増加するにしたがって、 $-20$  dBmからかけ離れます。

### 入力アッテネータの切り替え

入力アッテネータには、基準レベルの校正から測定までの間にアッテネータの設定を変更した場合にだけ基準レベル確度が低下するという、固有の不確かさがあります。入力アッテネータはアナライザの周波数レンジ全体にわたって動作するため、そのステップ確度は周波数の関数となります。低周波では、アッテネータは良好で、20 GHzではそれほどではないと予想されます。(IF利得は1つの周波数でしか動作しないので、入力アッテネータより正確であるのは当然です)。入力アッテネータ切り替え時の不確かさの代表値は $\pm 1$  dBです。

### 分解能帯域幅の切り替え

分解能帯域幅 (RBW) の設定により入力損失特性が異なります。このため、同じ信号を異なる設定で測定すると、振幅が変化することがあります。振幅測定のために帯域幅の設定を変更すると、確度が低下します。RWB切り替え時の不確かさの代表値は $\pm 0.4$  dBです。

### 表示スケールの切り替え

例えば、/divのスケール係数を10 dB/divから1 dB/divまたはリニアに変更すると、ログ/リニア増幅器の校正の相対特性に不確かさが生じます。こうした不確かさの増加を防ぐ方法は、スケールを変更しないことです。リニア-ログ切り替え時の不確かさの代表値は、基準レベルで $\pm 0.25$  dBです。トレース・データをメモリに保存し、メモリのデータを表示するスペクトラム・アナライザの場合は、これが要因とはならないこともあります。

### インピーダンスの不整合

アナライザだけでなく信号源によっても異なるため、表1には含まれていませんが、インピーダンスの不整合は測定の不確かさのもう1つの要因です。スペクトラム・アナライザは、50  $\Omega$  負荷 (75  $\Omega$  入力を備えたアナライザの場合は75  $\Omega$  負荷) の信号レベルを測定しようとしていますが、ス

ペクトラム・アナライザの入力インピーダンスは必ずしも特性インピーダンスではないため、不確かさが生じる場合があります。不整合に起因する不確かさが小さい場合もあります。例えば、アナライザの入力VSWRが1.3で、信号源のVSWRが1.2の場合は、不整合に起因する最大不確かさは $\pm 0.1$  dBになります。これに対して、アナライザと信号源のVSWRがともに2.0の場合は、不整合による不確かさは約 $\pm 1$  dBになります。

### 絶対振幅の不確かさの要因

#### 周波数応答

絶対周波数応答の不確かさは、振幅基準信号 (例えば、Agilent ESAシリーズ・アナライザの50 MHz振幅基準またはAgilent 8560シリーズ/8590シリーズ・アナライザの300 MHz基準) に対する、与えられた周波数レンジでの振幅の最大不確かさを表します。

#### 校正器

絶対測定は、既知の振幅を持つ校正信号を基準にした測定です。ほとんどのスペクトラム・アナライザに、1つの周波数で指定された振幅の信号を提供する校正器 (ESAシリーズ・アナライザでは「振幅基準」) が内蔵されています。代表的な校正器の不確かさは $\pm 0.3$  dBです。校正器は、格子線の一番上のラインに対して絶対校正を行います。通常、校正器の信号源は単一周波数で動作するため、絶対校正の他の周波数/振幅への変換は、アナライザの相対確度に依存します。

通常、測定する信号の周波数は校正器と異なるため、場合によっては周波数制御を変更する必要があります。一般的には、振幅も異なるため、最高の確度を得るには、基準レベルを変更して、信号を格子線の一番上のラインまで持つて行かなければならない場合もあります (IF利得の不確かさがスケール忠実度の不確かさを下回っている場合)。こうした変更は、相対振幅の不確かさの原因となります。

# 全不確かさの計算

いくつかの一般的な状況に対する測定の不確かさの計算方法について説明します。

## 例

### バンド内の相対測定（デルタ・マーカ）

同じ周波数バンドの2つの信号を比較する場合に関連する不確かさは、周波数応答（相対）とスケール忠実度です。

図5は、基準レベルの900 MHz信号と、基準レベル以下の振幅を持つ1.8 GHzの2次高調波を示しています。同じバンド内にある信号を比較する場合は、周波数応答の不確かさは仕様の2倍になります（例えば、 $2 \times \pm 1 \text{ dB} = 2 \text{ dB p-p}$ ）。これは、各信号の位置での振幅の不確かさが、仕様範囲の+または-の両極端上になる可能性があるからです（図4を

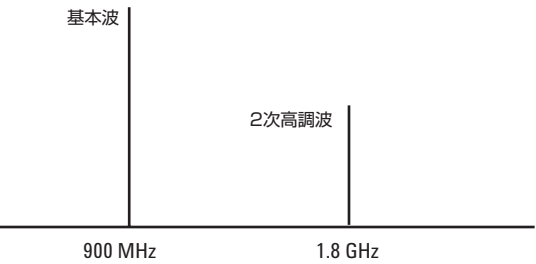


図5. 同一周波数バンドの基本波と2次高調波

参照)。3種類の測定器の仕様値を表2に示します。

表2. バンド内相対測定の確度仕様

要因	8593Eの仕様 (±dB)	8563Eの仕様 (±dB)	E4407Bの仕様 (±dB)
周波数応答	1.0～2.0（相対）	1.0～3.3（相対）	0.5～2.0（相対）
スケール	最大1.1	最大0.85	最大1.15
忠実度	(70 dBレンジ)	(90 dBレンジ)	(85 dBレンジ、 RBW≥1 kHz) 最大1.28 (98 dBレンジ、 RBW≤300 kHz)



一般に、20 GHzより上の信号を測定している場合を除いて、信号が50 MHz以上離れている限り、周波数応答の不確かさは重要ではありません。例えば、これらの不確かさを、 $-80$  dBcの3次歪みが発生している、50 kHz離れた2つの2 GHz信号のTOI（3次インターセプト）測定に適用します（図6を参照）。

8560Eを使用した場合の不確かさの計算を表3に示します。

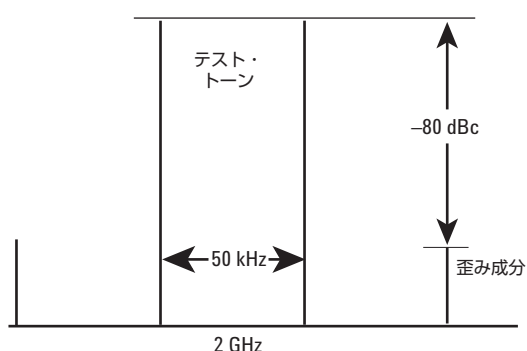


図6. TOI測定

表3. バンド内TOI測定の不確かさの計算

要因	8560E	
	仕様 (±dB)	不確かさ (±dB)
周波数応答 (入力トーン)	1.0	—
周波数応答 (歪み成分)	1.0	—
スケール忠実度	最大0.85 (90 dBレンジ)	0.85
全不確かさ		0.85

#### 複数のバンドにわたる相対測定（デルタ・マーカ）

バンドの異なる信号を比較する場合（バンド間測定）は、各バンドの周波数応答の不確かさを加算します（図7を参照）。バンド切り替え時の不確かさが仕様化されている場合は、仕様値を周波数応答に加算します。バンド切り替え時の不確かさが仕様化されていない場合は、各バンドの相対周波数応答の不確かさの代わりに、絶対周波数応答（校正器を基準）を使用します。

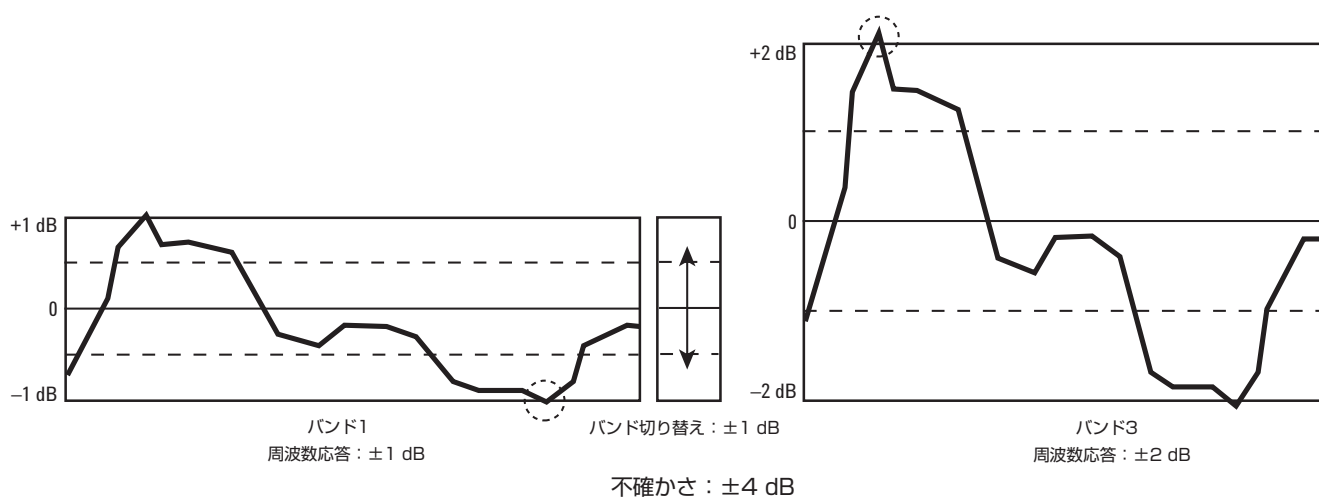


図7. バンド間測定の周波数応答の不確かさ

3種類のアナライザの関連仕様を表4に示します。

2種類の測定器を使った2次高調波の測定例について考えます。10 GHzの基本波、2次高調波レベルは−85 dBcです。Agilent 8563Eの仕様を用いて計算します。

10 GHzにおける周波数応答	=±2.2 dB
20 GHzにおける周波数応答	=±2.5 dB
バンド切り替え時の不確かさ	=±1.0 dB
スケール忠実度	=±0.85 dB
全不確かさ	=±6.55 dB

8593Eの場合について計算します。これはバンド間測定ですが、バンド切り替え時の不確かさが仕様化されていないので、絶対周波数応答を使用します。周波数応答の不確かさは10 GHzで±2.5 dB、20 GHzで±3.0 dBです。スケール忠実度仕様は、0〜−70 dBレンジに対してであることに注意してください。−85 dBc測定を行う必要があるので、8563Eの場合とは異なる測定手順を使用します。基本波を測定した後、基準レベルを−20 dBmに変更します（基本波は0 dBmの基準レベルで測定されたと仮定）。これによりIF利得に不確かさが生じますが、測定することはできます。全不確かさを計算します。

10 GHzにおける周波数応答 (基準レベル0 dBm)	=±2.5 dB
20 GHzにおける周波数応答 (基準レベル−20 dBm)	=±3.0 dB
スケール忠実度 (−65 dBc)	=±1.05 dB
基準レベルの不確かさ (0 dBmで) = 0.3 dB + 0.1 × 20	=±0.5 dB
全不確かさ	=±7.05 dB

これらの計算の概要については、表5を参照してください。8593Eでは測定することはできませんが、8563Eの方が表示範囲が広いので、基準レベルを変更する必要がなく、不確かさの小さな測定が可能です。Agilent E4407Bは、不確かさを最小限に抑えた測定を実現できます。

表4. バンド間相対測定の確度仕様

要因	8593Eの仕様 (±dB)	8563Eの仕様 (±dB)	E4407Bの仕様 (±dB)
バンド切り替え	仕様なし	1.0	なし
周波数応答	1.5〜5.0 (絶対)	1.0〜3.3 (相対)	0.5 <sup>1</sup> 〜3.0 <sup>2</sup> (絶対)
スケール忠実度	最大1.1 (70 dBレンジ)	最大0.85 (90 dBレンジ)	最大1.15 (85 dBレンジ、RBW≥1 kHz) 最大1.28 (98 dBレンジ、RBW≤300 kHz)

1. 20〜30 °C  
2. 0〜55 °C

表5. バンド間相対測定の不確かさの計算

要因	8593Eの仕様	不確かさ	8563Eの仕様	不確かさ	E4407Bの仕様	不確かさ
周波数応答 (10 GHzで)	±2.5 dB (絶対)	±2.5 dB	±2.2 dB (相対)	±2.2 dB (相対)	±2.0 dB (絶対)	±2.0 dB (絶対)
周波数応答 (20 GHzで)	±3.0 dB (絶対)	±3.0 dB	±2.5 dB (相対)	±2.5 dB (相対)	±2.0 dB <sup>1</sup> (絶対)	±2.0 dB <sup>1</sup> (絶対)
バンド切り替え	仕様なし		±1.0 dB	±1.0 dB	仕様なし	
スケール忠実度	最大±1.1 dB (70 dBレンジ)	±1.05 dB (−65 dBc)	最大±0.85 dB (90 dBレンジ)	最大±0.85 dB	最大±1.15 dB (85 dBレンジ) ±1.28 dB (98 dBレンジ)	±1.15 dB (−85 dBc)
基準レベル		±0.5 dB		—		—
全不確かさ		±7.05 dB		±6.55 dB		±5.15 dB

1. 20～30 °C (0～55 °Cの場合は±2.5 dB)

バンド間測定のもう1つの例として、22 GHz～26.5 GHzのレンジ、10 GHzの搬送波でスプリアス測定を実行するとします。スプリアスは−70 dBc以下でなければなりません (図8を参照)。10 GHzの搬送波を基準にした、22 GHz～26.5 GHzレンジでの確度の高いスプリアス測定の実現方法を知りたいはずです。考慮すべき要因は、2つのバンドの周波数応答 (相対)、バンド切り替え時の不確かさ、スケール忠実度です。表6の8563Eの仕様を用いた場合は、6.46 GHz～13.2 GHzバンドの周波数応答 (相対) は±2.2 dB、22～26.5 GHzバンドの周波数応答は±3.3 dB、バンド切り替え時の不確かさは±1 dB、スケール忠実度 (ログ) は±0.85 dBで、全不確かさは±7.35 dBとなります。

表6. バンド間スプリアス測定の不確かさの計算

要因	仕様 (±dB)	8563E 不確かさ (±dB)
周波数応答 (6.46～13.2 GHz)	2.2	2.2
周波数応答 (22～26.5 GHz)	3.3	3.3
バンド切り替え	1.0	1.0
スケール忠実度	最大0.85 (90 dBレンジ)	0.85
全不確かさ		7.35

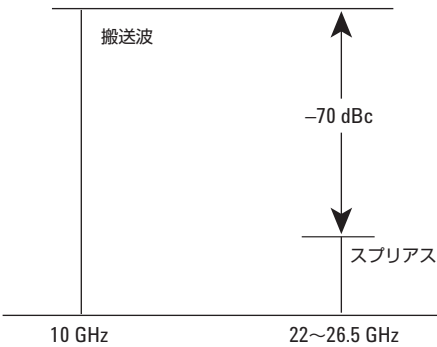


図8. スプリアス測定

### 絶対測定（単一マーカ）

周波数制御と振幅制御だけを変更した場合は、絶対確度は次の3つの要因によって決まります：校正器の確度、信号から校正器への絶対周波数応答、校正器レベルからの変更によるIF利得の不確かさ（Agilent ESAシリーズ/8590シリーズ・アナライザの場合は「基準レベル確度」）。アナライザの基準レベルで測定された信号の場合は、絶対振幅の不確かさは、校正器の不確かさ+絶対周波数応答の不確かさと等しくなります。基準レベル以外のレベルの信号の場合は、最高の確度を実現するには、基準レベル制御を変更して、信号を基準レベルまで持って行きます（IF利得の不確かさがスケール忠実度の不確かさを下回っている場合）。この場合、絶対振幅の不確かさは、基準レベル、絶対周波数応答、校正器の不確かさの和になります。

−10 dBmで2 GHz信号を測定する必要があると仮定します。表7のAgilent 8560Eの仕様から、校正器の不確かさは±0.3 dBです。8560Eでは校正器レベルが−10 dBmなので、±1.0 dBのIF利得の不確かさは除外されます。絶対周波数応答の不確かさは±1.5 dBで、全不確かさは±1.8 dBとなります。

表7. 絶対振幅測定の不確かさの計算

要因	8560E	
	仕様 (±dB)	不確かさ (±dB)
校正器	0.3	0.3
基準レベル	1.0	— (基準レベルで)
周波数応答	1.5 (絶対)	1.5
全不確かさ		1.8

スペクトラム・アナライザを選択する場合は、目的の測定が行える測定器かどうか確認する必要があります。10 GHzでスプリアス測定を実行する必要がある場合は、搬送波から10 kHzオフセットでスプリアスが発生するため、スプリアスは−70 dBc以下でなければなりません。また、搬送波レベルは±3 dBまで測定する必要があります。搬送波の絶対レベルを測定する場合に考慮すべき要因は、校正器確度、IF利得の不確かさ、10 GHzにおける絶対周波数応答の不確かさです。8563Eの場合は、これらの仕様がそれぞれ、±0.3、±1.0 dB、±2.9 dBで、全体の振幅の不確かさは±4.2 dBになります。これは、±3 dBの要件を越えています。ただし、Ampcor（15ページを参照）により、このアナライザの周波数応答の不確かさを許容レベルまで低減できます。通常、最大の不確かさの原因は周波数応答なので、不確かさを低減するための手順ではまず、以下で説明するように、周波数応答の不確かさを低減することに重点を置く必要があります。

## 誤差

これまで、不確かさについて説明してきました。不確かさは、測定誤差の補正が可能な誤差とは異なります。振幅を測定する場合に注意すべき誤差の原因を以下に示します。

## 信号+雑音

スペクトラム・アナライザのディスプレイ上に表示される振幅はすべて、IF通過バンドに存在する全エネルギーの和です。したがって、表示される信号の振幅は、実際には、信号レベル + 雑音レベルになります。すなわち、表示信号は、雑音が追加されているため、実際の値より高くなります。表示平均雑音レベル（DANL）に近い信号の測定は、雑音の追加に起因する振幅誤差の影響を受けることがよくあります。この誤差は、S/N比に応じて大きかったり小さかったりしますが、補正できます。雑音近くの信号の測定については、参考文献3を参照してください。雑音より10 dB以上上に表示される信号については、この誤差は無視できます。

振幅の異なる隣接する信号を測定する場合にも、同様の誤差が生じる可能性があります。これは、両方の信号がアナライザのIFを通過し、ともに検波された場合に発生します。より小さな信号の表示振幅は、不正確な場合があります。この誤差は、±0.5 dB未満で、小さな信号が大きな信号のスカートの上10 dB未満の場合に生じます。

## 全体の振幅確度

最新のスペクトラム・アナライザの中には、全体の絶対振幅確度を仕様化しているものもあります。この仕様は、絶対周波数応答の不確かさに加算する値であり、特定の境界条件の範囲内で測定を行う場合の振幅確度の決定が容易になります。例えば、Agilent ESA-Eシリーズ・アナライザ全体の絶対振幅確度仕様は、(±0.54 dB + 絶対周波数応答)<sup>1</sup>です。表8は、このアナライザ・ファミリの振幅の不確かさを示したもので、全体の振幅確度仕様を使用しています。

表8. 全体の絶対振幅確度仕様を使用した絶対振幅測定の不確かさの計算

周波数レンジ	ESA-Eシリーズ	
	絶対周波数応答仕様 <sup>2</sup> (±dB)	不確かさ <sup>1</sup> (±dB)
9 kHz~3.0 GHz	0.5	1.04
3.0 GHz~6.7 GHz	1.5	2.04
6.7 GHz~13.2 GHz	2.0	2.54
13.2 GHz~25 GHz	2.0	2.54
25 GHz~26.5 GHz	2.0	2.54

1. 基準レベル0~-50 dBm、RBW=1 kHz、ビデオ帯域幅=1 kHz、対数スケール、0~-50 dBの対数レンジ、結合挿入時間、サンプリング検波器、0~-50 dBmの入力信号、スパン≤20 kHz、20~30 °Cの場合。

2. 20~30 °C。

# 全体の不確かさの低減

## 変更の最少化

データを取り込む前に、測定を行って、制御を変更しなくても大丈夫か確認します。単一の入力アッテネータ設定、分解能帯域幅、表示スケーリングを測定に使用できる場合は、これらの制御の変更に伴う不確かさは無視できます。最高の確度を得るには、制御を測定実行時と同じ状態にして、アナライザを校正します。

## スケール忠実度の代わりにIF利得を使用

基準レベル（IF利得）の不確かさがスケール忠実度を下回っている場合は、基準レベル制御を使用して同じ垂直位置にある両方の信号を測定することにより、相対測定の不確かさを最小限に抑えることができますので、スケール忠実度は不要です。基準レベル制御を使って最初の信号を基準振幅に合わせ、マーカを使用して振幅値を読み取ります。次に、基準レベルを調整して2番目の信号を同じ基準振幅まで持って行き（マーカで測定）、2つの基準レベル設定の差を計算して相対振幅を求めます。

## 自己校正

今日のスペクトラム・アナライザの多くは、自己校正ルーチン（ESAシリーズ・アナライザの自動調整機能など）を備えています。これらのルーチンは、アナライザが測定データの補正に使用するエラー係数（例：振幅変化対分解能帯域幅）を作成します。これらのルーチンにより、確度の高い振幅測定を実現できるだけでなく、測定中により自由に制御を変更できます。ただし、不確かさの仕様は、自己校正が完了していることが前提条件なので、仕様確度を実現するには自己校正が不可欠です。

## 特性評価

アナライザの特性評価により、周波数応答や校正器の不確かさを低減できます。より確度の高い校正信号または対象周波数により近い校正信号があれば、内蔵校正器の代わりに使用することができます。校正器の不確かさを低減するには、信号源と高精度パワー・メータを使用して、基準レベル（格子線の一番上のライン）を校正します。周波数応答の不確かさを低減するには、被試験信号と同じ周波数の信号源を使用して、基準レベルを校正します。周波数レンジにわたる測定補正には、スペクトラム・アナライザの周波数応答のポイントツーポイント校正データを使用します。

## Ampcor

一部のスペクトラム・アナライザは、ポイントツーポイント周波数応答特性データをテーブルに保存し、保存したデータを測定データに自動的に適用して補正表示情報を作成する、振幅補正ルーチン（Ampcorなど）を内蔵しています。Ampcor、信号源、パワー・メータ内蔵のスペクトラム・アナライザを使用すると、被試験デバイスとアナライザの間のケーブルやアダプタに起因する入力信号の不要な変動も補正できます（参考文献2を参照）。Ampcorは、ユーザ入力 of 周波数-振幅ペアのテーブルを使用して、入力信号の変動をオフセットする補正曲線を作成します。結果として表示される信号トレースは、被試験デバイスの実際の信号振幅を表します（図9を参照）。

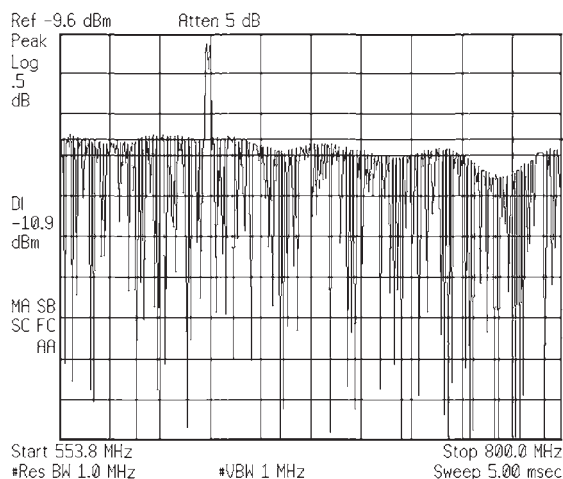


図9a. 元の信号

## 感度の向上

前述のように、表示信号振幅は、通過バンドに存在する信号と雑音の和です。アナライザのノイズ・フロアに近い信号の場合（10 dB以内）は、表示振幅と真の振幅の誤差は大きくなります（参考文献3に、この誤差を補正するための式が掲載されています）。

このため、低レベル信号を測定する場合は、アナログの雑音レベルをできるだけ低くする必要があります。雑音レベルは帯域幅によって決まるので、可能な限り狭い分解能帯域幅で測定を行います。もちろん、狭い分解能帯域幅をいつでも使用できるとは限らないので、掃引時間の長さと比較検討する必要があります。ただし、デジタル分解能帯域幅フィルタを用いることにより、非常に狭い分解能帯域幅を、アナログ・フィルタより短い掃引時間で使用できます。

雑音レベルに近い信号を測定する際に、より安定した、より再現性の高い測定を実現するには、ビデオ・フィルタを使用します。狭いビデオ帯域が得られない場合は、ビデオ・アベレージングを使用して、複数の掃引のトレースをデジタル・スムージングします。

被試験デバイスとアナライザ入力を結ぶ機器（外部アッテネータなど）はすべて、挿入損失や不整合に応じて有効感度を低下させる場合があります。さらに、挿入損失／利得

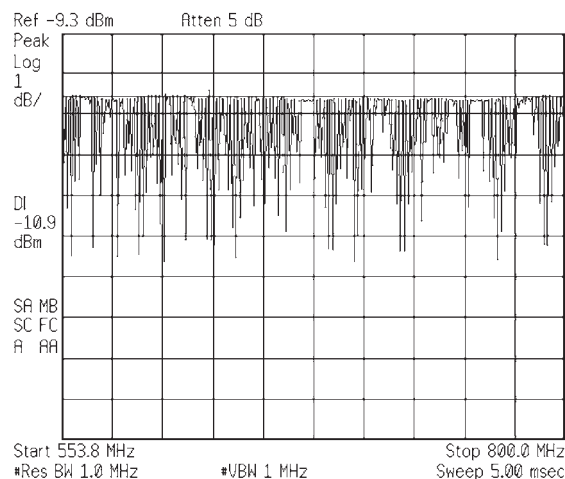


図9b. Ampcorによって補正された信号

および不整合という周波数応答特性により、測定のフラットネスの不確かさが増加します。Ampcorを使用すれば、この不確かさも補正できます。

## プリアンプ

IF利得に限りがあるため、小さな信号を対数表示の基準レベルまで上げることはできません。このため、これらの信号を測定する場合は、スケール忠実度の不確かさが要因となります。スペクトラム・アナライザの中には、信号レベルを高めて、より小さな信号を格子線の一番上のラインで測定できるようにするプリアンプを内蔵しているものもあります。ただし、プリアンプの利得フラットネス／不整合によって、全体のフラットネスが劣化する場合があります。また、プリアンプの利得を測定信号レベルから減算して、真の信号レベルを求める必要があるため、プリアンプの利得の不確かさがさらに測定全体の不確かさに影響を与えます。これらの不確かさが、スケール忠実度の不確かさより大きくなる可能性もあります。

## 不整合の低減

整合パッド（アッテネータ）をアナライザ入力に取り付けて、不整合の不確かさを低減します。入力アッテネータを0 dBに設定すると、アナライザの整合が最悪になるので、可能な限り、0 dBに設定しないでください。



## 計測お客様窓口

受付時間 9:00-19:00 (土・日・祭日を除く)

**FAX、E-mail、Webは24時間受け付けています。**

TEL ■■ 0120-421-345  
(042-656-7832)

FAX ■■ 0120-421-678  
(042-656-7840)

Email contact\_japan@agilent.com

電子計測ホームページ  
www.agilent.co.jp/find/tm

●記載事項は変更になる場合があります。  
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2006

アジレント・テクノロジー株式会社

## まとめ

スペクトラム・アナライザを使った振幅測定は、相対不確かさと絶対不確かさの両方の影響を受けます。測定全体の不確かさは、アナライザの確度／不確かさ仕様を基準にして、測定に適用できる要因を考慮することにより計算できます。全不確かさは、測定手法に配慮することにより最小限に抑えることができます。一般的には、アナライザの制御設定の変更回数を制限して、より大きな不確かさの代わりにより小さな不確かさを用います。不確かさは、特性評価や振幅補正によりさらに低減できます。

## 参考文献

1. 『スペクトラム解析の基礎』、  
カタログ番号5952-0292JAJP。
2. 『スペクトラム・アナライザ測定を成功させる8つのヒント』、カタログ番号5965-7009J。
3. 『Agilent Application Note 1303: Spectrum Analyzer Measurements and Noise』、カタログ番号5966-4008E。
4. 『Amplitude Accuracy Enhancement Techniques for the Agilent 8566A/B and 8568A/B Spectrum Analyzers』  
(Agilent white paper)
5. 『Spectrum Analyzer Basics』 (Agilent Back-to-Basics Seminarの一環)、カタログ番号5965-7920E。
6. 『Spectrum Analyzer Frequency and Amplitude Accuracy』  
(Agilent SR112の基本に関する製品トレーニング)。
7. 『E4401B、E4402B、E4404B、E4405B、E4407B ESA-E シリーズ・スペクトラム・アナライザ』 Data Sheet、  
カタログ番号5968-3386J。
8. 『Agilent 8560 E-Series Spectrum Analyzers』 Data Sheet、  
カタログ番号5965-8078E。
9. 『Agilent 8990 E-Series Portable Spectrum Analyzers』  
Data Sheet、カタログ番号5963-6909E。



**Agilent Technologies**

May 2, 2006  
5968-3659JAJP  
0000-00DEP