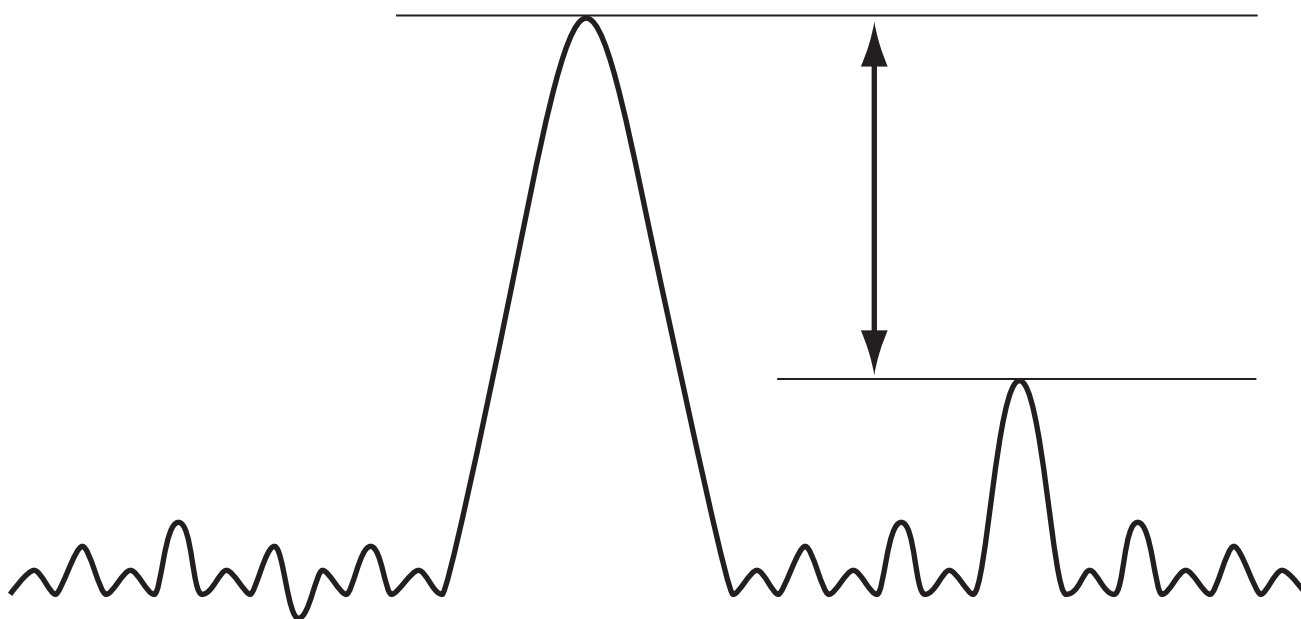


Agilent AN 1315 RF/マイクロ波スペクトラム・ アナライザのダイナミック・ レンジの最適化

Application Note



Agilent Technologies

目次

3	1. はじめに
3	ダイナミック・レンジとは？
3	ダイナミック・レンジが重要である理由
4	2. ダイナミック・レンジの解釈
4	測定範囲
4	表示範囲
5	ミキサ圧縮
6	内部歪み
7	雑音
7	感度
7	位相雑音
7	2次および3次ダイナミック・レンジ
9	まとめ
10	3. 高調波または相互変調歪み測定
10	測定の不確かさ
11	測定の最適化
11	プリアンプ
12	アッテネータ
12	外部フィルタ
13	RBWフィルタ
13	他の信号の測定
14	4. まとめ
15	5. 参考文献

1. はじめに

ダイナミック・レンジとは？

スペクトラム・アナライザのダイナミック・レンジとは、小さい方の信号を与えられた不確かさで測定できる最大信号と最小信号の比(単位dB)として定義されています。目的の信号が、高調波であっても非高調波でもあってもかまいません。

ダイナミック・レンジが重要である理由

大きな信号がある場合に低レベル信号を表示できるかどうかはダイナミック・レンジの仕様によって決まり、ダ

イナミック・レンジはスペクトラム・アナライザの最も重要な性能指標の1つです。ダイナミック・レンジを求める際に、測定器の表示範囲、測定範囲、ノイズ・フロア、位相雑音、スプリアス応答がすべて重要な役割をし、ダイナミック・レンジは誤って理解され、解釈されることがよくあります。特定の測定にどのダイナミック・レンジの解釈が当てはまるかを理解することにより、正確で信頼性と再現性の高いスペクトラム・アナライザ測定が行えます。

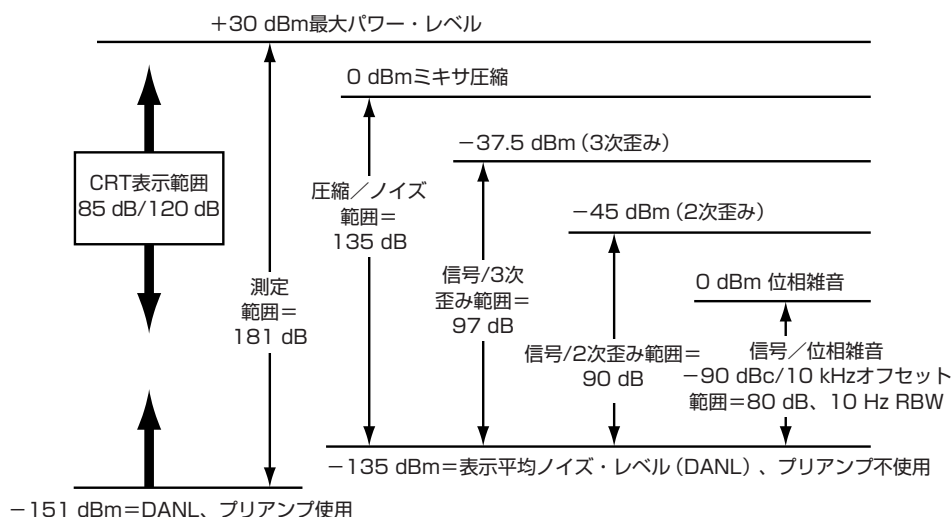


図1. ダイナミック・レンジの解釈

2. ダイナミック・レンジの解釈

図1に、ダイナミック・レンジのさまざまな解釈を示します。ここでは、それぞれの解釈について説明します。

測定範囲

測定範囲は、スペクトラム・アナライザで測定できる最大信号と最小信号の差で、設定が異なる場合もあります。通常、フロントエンド・ハードウェアを損傷せずにアナライザの入力に印加できる最大パワー・レベルが、最大信号となります。これは、ほとんどのアナライザで+30 dBm (1 W) です。測定器のノイズ・フロアによって、測定範囲の下限が決まります。ノイズ・レベルより下の信号は画面に表示されません。1Wの測定に使用する入力アッテネータの設定と同じ設定では、最低ノイズ・レベルを実現できないことに注意してください。

表示範囲

表示範囲は、画面の校正済み振幅レンジです。アナライザ画面が10垂直divの場合、アナライザは10 dB/divの対数表示モードで通常、100 dB離れた信号を表示できるはずです。しかし多くの場合、ログアンプによってレンジが制限されます。例えば、85 dBのログアンプの場合、画面が10 divであっても、校正済み目盛りは8.5 divになります。アナライザの基準レベル設定により、表示範囲を測定範囲内の任意の位置に配置できます。

デジタル・フィルタを使用して狭分解能帯域幅を実現するスペクトラム・アナライザもあります。この場合は、ログアンプはバイパスされるので、D/Aコンバータとオートレンジングが制限因子となります。この場合の校正済み表示範囲は、120 dBです。

ヒント：基準レベルを用いた最適化

大きな信号と小さな信号を測定する必要がある場合は、基準レベルを変更して、大きな信号を画面の上限より上に最大10 dBだけ移動すると、小さな信号を校正済み表示範囲に入れることができます。この方法は、小さな信号の測定精度にはほとんど影響しませんが、ミキサ圧縮を回避する必要があります。

ミキサ圧縮

ミキサ圧縮レベルは、表示信号の確度を下げずにアナライザに入力できる最大パワー・レベルです。ミキサの信号レベルが圧縮ポイントより十分下にある場合は、目的の変調成分 (IF信号) のレベルは入力の線形関数となり、エネルギーがほとんど歪みに変化しません。ミキサ・レベルが増加すると、かなりのエネルギーが歪み成分として失われるので、伝達関数が非線形になります。この時点で、ミキサは圧縮状態にあると考えられ、表示信号レベルが実際の信号レベルより下になります。

ミキサの圧縮仕様とは、それ以下になるとアナライザが表示信号を1 dB未満圧縮する、全ミキサ入力パワー・レベルを表します。画面に表示されていない入力信号が存在していても、ミキサにおける入力レベルは、あくまですべての周波数の入力パワーの合計です。圧縮の評価方法には、CW圧縮、2トーン圧縮、パルス圧縮の3つがあります。それぞれが、固有の圧縮しきい値を持つ異なる圧縮メカニズムです [1]。

ヒント：ミキサ・レベルの制限

高レベル信号を正確に測定するには、ミキサに到達するパワーを制限して圧縮を回避するように、入力アッテネータの設定します。Agilent ESAスペクトラム・アナライザでは、最大ミキサ・レベルを設定できます。画面に表示されているすべての信号のパワー・レベルが入力ミキサで選択したレベル以下に維持されるように、アッテネータ設定が自動的に変更されます。最大設定 (デフォルト) は-10 dBmです。

内部歪み

内部歪みは、1トーンからの高調波歪み、複数のトーンからの相互変調歪みなどの歪み成分を測定するときに、ダイナミック・レンジを決める因子の1つです。内部発生相互変調歪みと高調波歪みは、ミキサにおける入力信号振幅の関数です。これらの影響を理解するには、入力ミキサの動作を調べます。

ほとんどのアナライザはダイオード・ミキサを使用しています。ダイオード・ミキサは非線形デバイスで、理想ダイオードの式【1】にしたがって動作します。テイラー級数展開を使用すると、非線形デバイスの入力基本波の信号パワーが1 dB変化すると、出力で2次（例えば、2次高調波）歪みが2 dB、3次（例えば、3次高調波）歪みが3 dB変化することがわかります（図2を参照）。ダイナミック・レンジは、基本波トーンと内部発生歪みの差に等しいと考えることができます。基本波パワーが1 dB変化す

ると、2次高調波歪み成分が1 dBc（搬送波または基準波を基準としたdB）、3次成分が2 dBcだけ変化することがわかります。

Agilent E4402Bスペクトラム・アナライザのスペリアス応答の仕様【4】を参照すると、このアナライザの2次高調波歪みは、ミキサ入力に-30 dBmの信号がある場合-75 dBcです。3次相互変調歪み（TOI）は、ミキサ入力に2個の-30 dBmの信号がある場合-80 dBcです。基本波と内部発生2次および3次歪み成分間の関係がわかっているため、さまざまなミキサ入力レベルに対してグラフ（図3）を作成することができます。傾きは、内部の2次高調波のプロットの場合は1次、3次相互変調歪みで2です。グラフからは、ミキサ・レベルが十分に低い場合は、内部歪みを気にする必要はありませんが、信号レベルが低くなると、ノイズの影響を考慮する必要があります。

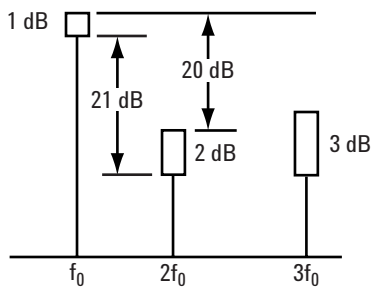


図2. 入力パワー・レベルによる歪み成分の相対振幅の変化

雑音

ダイナミック・レンジには、位相雑音と感度の2種類の雑音に関係します。ノイズは広帯域信号です。このため、分解能帯域幅(RBW)フィルタを広くすると、より多くのランダム雑音エネルギーがディテクタに入力されます。この結果、位相雑音のレベルとアナライザのノイズ・フロアが上がります。したがって、雑音仕様には、RBWを記載する必要があります。

感度

アナライザの感度(表示平均ノイズ・レベル(DANL)またはノイズ・フロアとも呼ばれます)によって、測定できる最小信号が決まります。DANLの下限の理論値、室温で雑音帯域幅1 Hzの場合、 kTB^1 (-174 dBm)です。

位相雑音

DANLは、周波数が非常に離れた2個の信号を測定するときの主要パラメータですが、位相雑音は、周波数が近い

(間隔が1 MHz以内の)2個の信号を測定するときの主要パラメータです。位相雑音は、側波帯ノイズとも呼ばれ、局部発振器(LO)の不安定性に起因します。完全な発振器はありません。どの発振器も、ランダム雑音によってある程度位相変動され、LOの不安定性がミキサを通して表示信号に伝わります。十分に安定した入力信号では、LOが安定しているほど位相雑音が低下します。ダイナミック・レンジを考える場合は、位相雑音は、テスト・トーンが互いに近接しているときに問題になる点で3次相互変調歪みに似ています。

2次および3次ダイナミック・レンジ

内部歪みレベルのグラフ(図3)にノイズの影響を含めるには、ミキサ入力の基本波レベルの変化を基準としてS/Nがどう変化するかを考える必要があります。ミキサで信号レベルが1 dB増加するごとに、S/N比が1 dB増加します。

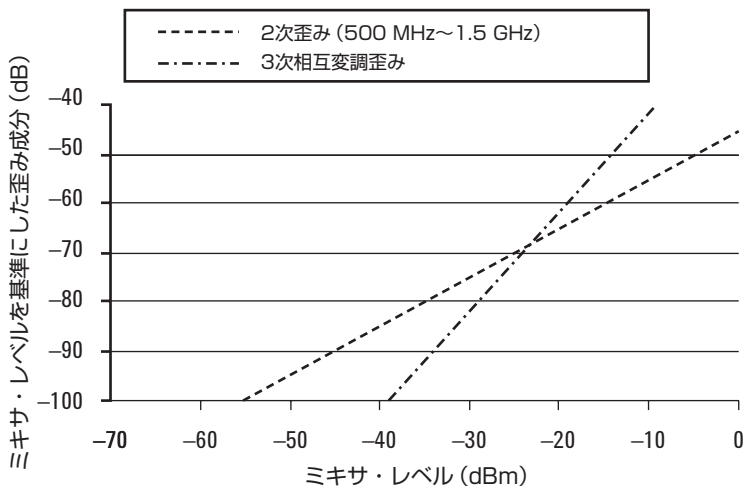


図3. Agilent E4402Bの、ミキサ入力レベルの関数としてプロットした、内部2次高調波歪みと3次相互変調歪みのレベル

1. ここで、 k =ボルツマン定数、 T =絶対温度(ケルビン温度)、 B =帯域幅(Hz)

したがって、DANL曲線は傾き-1の直線です(図4を参照)。図4の-80 dBの水平線は、10 kHzオフセットおよび10 Hz RBWの場合の、DANLではなく位相雑音を表します。位相雑音は、搬送波近傍(1 MHz以内)で測定を実行するときの制限因子です。遠く離れた測定の場合は無視できます。ノイズによって測定できる信号の大きさが制限されるので、ノイズは内部歪み成分をどれだけ小さくできるかに影響を与えます。

2次または3次ダイナミック・レンジは、入力ミキサの歪み性能、DANL(感度)、局部発振器の位相雑音の3つの因子により制限されます。これらの因子すべてを考慮して、測定に最適化することが重要です。図4に、達成可能なダイナミック・レンジを2次および3次歪み測定のみキサ・レベルの関数として示します。歪みのない最大ダイナミック・レンジを得るには、DANLと内部歪みが等しくなるようにミキサのパワーを調整します。

ヒント：達成可能な最大2次または3次ダイナミック・レンジの決定

通常、達成可能な最大ダイナミック・レンジは仕様化されていて、アナライザの内部歪み成分からの干渉を受けない、2個の高調波関係にある信号間の最大差(単位dB)を表します。図4からわかるように、最大ダイナミック・レンジは、ミキサ・レベルが雑音成分と歪み成分の交点に対応するときに達成されます。最大ダイナミック・レンジは、以下の式から求めることができ、スペクトラム・アナライザのダイナミック・レンジが特定の測定に対して十分であるかを判断するために使用できます。

式1 最大3次ダイナミック・レンジ=
(2/3) (DANL-TOI)

式2 最大2次ダイナミック・レンジ=
(1/2) (DANL-SHI)

ここで： TOI=ミキサ・レベル- (1/2)
 (歪み成分のレベル、dBc単位)
 SHI=ミキサ・レベル-歪み成分のレベル
 (dBc単位)

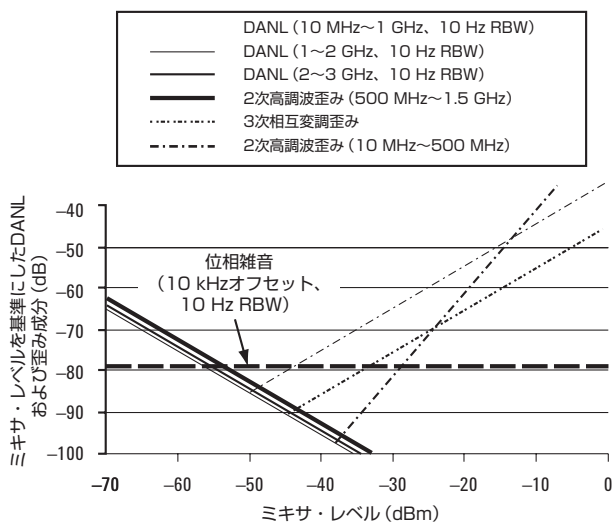


図4. Agilent E4402Bの感度、位相雑音、3次相互変調歪み、2次高調波歪み対ミキサ・レベル

まとめ

スペクトラム・アナライザの一般的な用途は、高調波歪み成分または相互変調歪み成分を測定することです。測定範囲、表示範囲、ミキサ圧縮は、こうした測定を実行する際にすべての制限因子を考慮していません。このため、「ダイナミック・レンジ」はしばしば、2次または3次ダイナミック・レンジを意味するものとして解釈されています。これは、セクション3で使用するダイナミック・レンジの解釈です。セクション3では、ダイナミック・レンジの影響を改善し理解することにより、歪み測定の品質を向上させるための手法について説明しています。

3. 高調波または相互変調歪み測定

測定の不確かさ

ダイナミック・レンジの理論的な計算は、測定の不確かさを考慮していません。内部成分が測定対象信号と同じ周波数で発生する場合は、歪み測定と同様に、確度が低下します。測定された振幅は、外部歪み成分と内部歪み成分の位相関係に応じて、2つの成分の和と差のあいだの値になります。位相関係を知る方法がないので、測定の不確かさを求めることができます。

式3 不確かさ (dB) = 20 log (1 ± 10^{d/20})

ここで、d=内部歪み成分と外部歪み成分間のdB単位の差(負の数)

測定で±1 dBの不確かさが必要な場合は、内部歪み成分が測定する歪み成分よりも19 dB以上、下になければなりません。この19 dBのガードバンドを曲線に追加すると、図5に示すように、2次の場合9.5 dBだけ、3次の場合12.7 dBだけダイナミック・レンジが減少します。ガードバンドとして追加したフルの19 dBは失われません。

因子は、測定器の内部歪みだけではありません。歪み／ノイズ比が低い場合にも、不確かさが大きくなります。測定する歪み成分がスペクトラム・アナライザのノイズ・レベルと等しいか非常に近い(数dB以内の)場合は、表示信号レベル(実際には信号とノイズを足したレベル)が実際の信号レベルよりも高くなります。この測定誤差[3]を補正するために補正係数を適用します。通常、信号が5 dB以上表示ノイズ・フロアより上にして、表示信号レベルの誤差を0.5 dB未満にします。

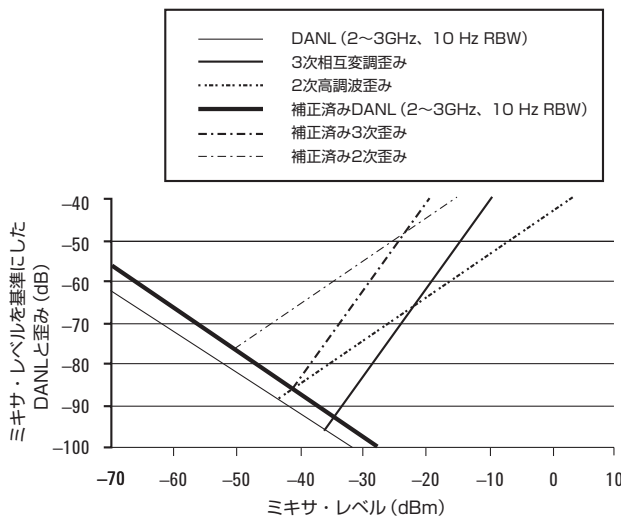


図5. 振幅の不確かさが補正されたダイナミック・レンジのグラフ

測定の最適化

プリアンプ

プリアンプは、低レベル信号の測定に有効です。プリアンプを選択するときに考慮すべき2つの重要な要素として、利得と雑音指数があります。プリアンプの雑音指数(NF)は、スペクトラム・アナライザのNF($NF_{SA} = DANL + 172 \text{ dBm}$)よりも低くなければなりません。プリアンプのNF+利得がスペクトラム・アナライザのNFより小さい場合は、プリアンプが、アナライザのDANL(プリアンプ利得の補正後)をプリアンプ利得とほぼ同じ大きさだけ減少させます。利得が大き過ぎる場合は、入力アッテネータを使用してミキサのパワー・レベルを最適化します。

プリアンプの欠点の1つは、プリアンプの影響を測定結果で考慮するために、プリアンプをシステムに組み込んで校正する必要があることです。Agilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザには、ダイナミック・レンジに影響を与えずにシステムのノイズ・フロアを下げる内蔵プリアンプ(オプション)があります。システム内蔵で、校正済みなので使用が簡単です。図6は、内蔵プリアンプを使用しない場合のノイズ・フロアで、図7は、内蔵プリアンプをオンにしたノイズ・フロアです。内蔵プリアンプをオンにした場合、ノイズ・フロアが約15 dB向上しています。

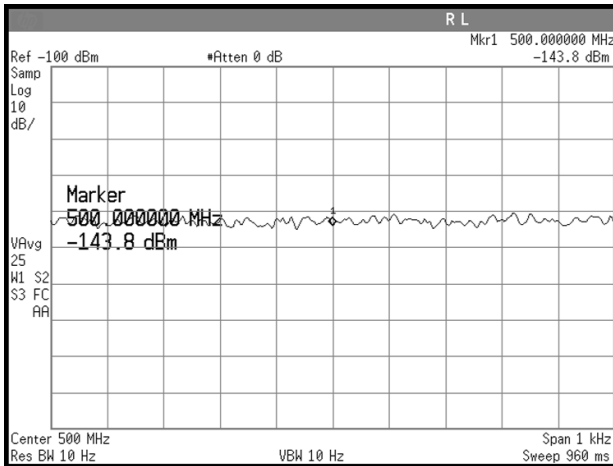


図6. Agilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザのDANL(プリアンプなし)

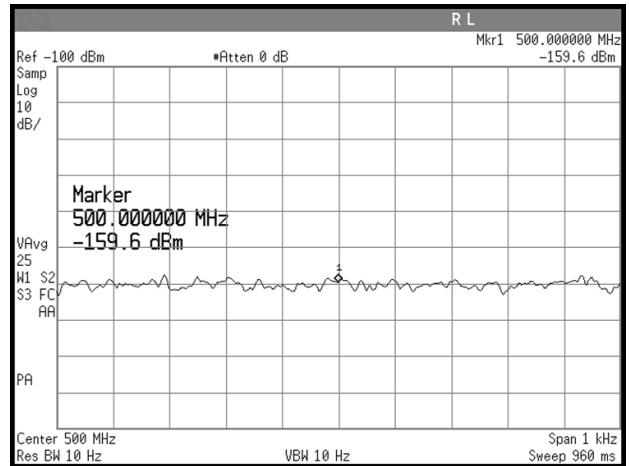


図7. Agilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザのDANL(プリアンプを使用)

アッテネータ

前述のように、歪み成分を測定する際にミキサのパワー・レベルを調整する必要があります。ミキサのパワー・レベルが十分に低い場合は、表示される歪み成分は被試験デバイス (DUT) に起因します。ただしパワーが低すぎると、アナライザのノイズ・フロアが歪み成分を隠してしまいます。

DUTの歪みがDANLを超えるにはミキサに十分なパワーが必要ですが、アナライザの歪みがDUTの歪みを隠すほど大きくなってはいけません。Agilent ESAスペクトラム・アナライザを使用すると、アッテネータを5 dBステップで変更できるので、特定の測定に最適なバランスに簡単に近づけることができます。

アッテネータ・テスト

歪み測定中、アナライザに表示されている歪み成分が内部で発生したものかどうかを簡単に見分けることができます。入力アッテネータで入力信号を減衰し、信号がミキサを通過した後、アナライザで再び同じ量だけそれを増幅します。その結果、入力での減衰が変化しても歪み成分が同じであれば、歪みは入力信号に含まれています。歪み成分の振幅が変化する場合は、歪みの全部または一部が内部で発生しています。

外部フィルタ

内部歪み成分を減らすためにミキサに到達するパワーを制限するもう1つの方法が、目的以外の信号を減衰または除去する方法です。これには、プリセレクタとして機能する外部フィルタを使用します。例えば、発振器の高調波をテストする場合は、ハイパス・フィルタを使って目的の高調波以外の基本波を除去することができます。間隔の狭い信号 (相互変調歪みテストなど) には、ハイQフィルタが必要になる場合があります。

RBWフィルタ

ノイズはRBWフィルタの関数なので、位相雑音やDANLの仕様を解釈するときに注意が必要です。

アナライザに1 Hz RBWフィルタがない場合でも、位相雑音の仕様は1 Hz RBWフィルタに正規化されています。実際に達成可能な位相雑音レベルを判断するためには、仕様の1 Hz RBWから測定に使用される実際のRBWフィルタへの変換が必要です。補正係数は以下の式で求めます。

位相雑音レベル補正 (dB) = $10 \log (\text{実際のRBW} / 1 \text{ Hz})$

例えば、Agilent E4411Bの10 kHzオフセットでの位相雑音の仕様は-90 dBc/Hzですが、最小RBW設定は10 Hzです。この場合、10 Hz RBWの補正係数は以下のようになります。

$10 \log (10 \text{ Hz} / 1 \text{ Hz}) = 10 \text{ dB}$

この補正係数を考慮すると、実際に達成可能な位相雑音は、アナライザの最小RBW10 Hzで-80 dBcです。

DANLも特定のRBWに対して仕様化されているので、測定RBWが異なる場合は調整が必要です。同じ計算を行って、補正済みのDANLを求めることができます。

DANL補正 (dB) =
 $10 \log (\text{測定時のRBW} / \text{仕様のRBW})$

最小RBWフィルタは、アナライザがある測定に対して十分なダイナミック・レンジを持つかどうかを判断する際に重要な要素です。

他の信号の測定

小信号 (2次歪みと3次歪み以外) を大信号と比較する場合は、これまで説明した歪み曲線は適用できません。この場合、ミキサによって発生した歪み成分は、測定に影響を与えません。例えば、4次高調波を測定する場合は、内部歪みは非常に小さいので無視できます。これらの測定では、ミキサの全パワーがミキサ圧縮レベルより下で、十分な表示範囲がある限り、位相雑音とDANLが制限因子となります。

4. まとめ

ダイナミック・レンジは、スペクトラム・アナライザによって測定できる信号振幅のレンジを制限します。測定範囲、表示範囲、ミキサ圧縮、内部歪み、雑音を含む複数のダイナミック・レンジの解釈があります。適用可能な解釈は、測定のタイプに依存します。ミキサ入力パワー、DANLなどのさまざまなパラメータを制御することにより、特定の測定に対して2次および3次ダイナミック・レンジを最適化できます。歪みのない最大ダイナミック・レンジを得るには、DANLと内部歪みが等しくなるようにミキサのパワーを調整します。

5. 参考文献

	カタログ番号
1. スペクトラム解析の基礎	5952-0292JAJP
2. Effective Spectrum Analysis Testing for Consumer Electronics Production Lines, Agilent Application Note 130	5966-0367E
3. Spectrum Analyzer Measurements and Noise, Agilent Application Note 1303	5966-4008E
4. Agilent ESA-E Series Spectrum Analyzers, Data Sheet	5968-3386E

サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率良く解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定精度の維持をお手伝いします。

アジレント・テクノロジー株式会社

本社〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

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



Agilent Technologies

April 27, 2006
5968-4545JAJP
0000-00DEP