

DUT ～スペクトラム・アナライザ間における相互変調積の相互作用 ホワイトペーパー

製品

- | R&S®FSQ
- | R&S®FSW

このホワイトペーパーでは、被測定物（DUT）によって発生した相互変調積とスペクトラム・アナライザ内部で発生した相互変調積との間の相互作用について説明します。相互変調ひずみの測定結果はこの相互作用の影響によって、デバイスの実特性以上に大きくなる事もあれば、逆に小さい値になることもあります。相互変調積の相殺を示した例と、スペクトラム・アナライザ内部の特性が測定結果へ与える影響を回避するために必要なステップについて概説します。

目次

1	相互変調ひずみ.....	3
1.1	ダイナミックレンジ.....	4
1.2	ツートーン信号の例.....	7
1.3	OFDM の例.....	10
2	相互変調ひずみの推定.....	12
3	結論.....	15
4	参考文献.....	16
5	オーダー情報.....	17

1 相互変調ひずみ

パワー・アンプのような部品の非線形性による 3 次相互変調積は、通信システムの性能低下の要因となっています。このことは、帯域内相互変調（たとえば、送信信号が低下するマルチキャリア OFDM システム）や隣接のチャネルが影響を受ける帯域外相互変調に当てはまります。帯域内ひずみは、信号品質の低下（たとえば、EVM を使って測定した変調精度に関して）を招きます。送信機では、送信信号経路の中で出力増幅器が最も高いパワーに対処しなければならないので、多くの場合で出力増幅器が相互変調を発生します。ただし、パワー・アンプの前にあるアクティブ部品の設計に問題があると、そのアクティブ部品が相互変調性能に関与してることがあります。

単一の経路内にある 2 つのアクティブ部品がほぼ同じ振幅を有する相互変調積を発生させた場合、実際に発生する相互変調は個々の相互変調積の位相関係に依存します。これは、2 つの正弦波信号が DUT に印加され、3 次相互変調積が考慮されるツートーン相互変調のケースで最も明確に見ることができます。両部品の相互変調積の位相関係に応じて、発生した相互変調積の振幅が合算されて相互変調ひずみが大きくなったり、あるいは相互変調積が引かれて相互変調ひずみが相殺されたりすることがあります。図 1 に相互変調積を表した 2 つの正弦波信号を示します。

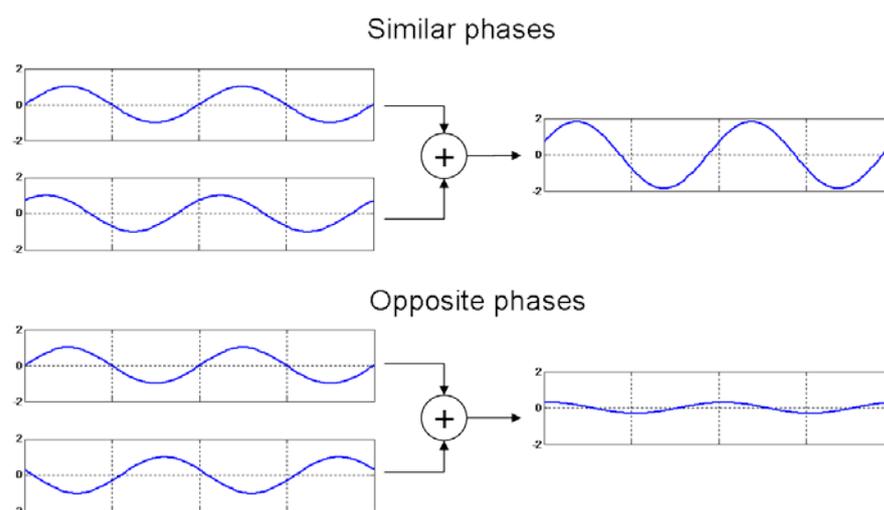


図 1 2 つの正弦曲線の強め合う干渉と弱め合う干渉

相互変調の相殺（逆位相の相互変調積による）は、よく知られている現象で、入力信号と増幅器の間に置いた非線形モジュールが増幅器によって発生するひずみに似た相互変調ひずみ（ただし、逆位相を有する）を挿入するアンプのプリディストーション法に使われています。増幅器の出力時にこれらの相互変調積は相殺され、システム全体の線形性が向上します。

スペクトラム・アナライザを使って相互変調積を測定する場合、カスケードされたアクティブ部品を使った場合と同じような状況が起こります。スペクトラム・アナライザは、入力ミキサまたはプリアンプのような非線形素子も内蔵しているので自身の相互変調積を発生させ、この相互変調積は DUT によって発生する相互変調積と同じような振幅を持つ場合があります。DUT の相互変調積とスペクトラム・アナライザの相互変調積との間の位相関係によっては、全相互変調ひずみが DUT の実際の相互変調ひずみよりも高くなったり（同位相相互変調積）低くなったり（逆位相相互変調積）することがあります。いずれのケースもスペクトラム・アナライザを使って実施した測定において不要なひずみを生じさせるので、このひずみが発生しないようにしなければなりません。

スペクトラム・アナライザは、RF 入力コネクタの後に機械式のステップ・アッテネータを持ち、プリアンプまたは第 1 ミキサのような潜在的に非線形な素子の入力部でレベルの調整を行います（図 2 参照）。第 1 ミキサでレベルを調整することにより、相互変調ひずみをほぼなくすることができます。スペクトラム・アナライザの中には、さらに電子アッテネータを使っている（たとえば、切り替え速度のために）機種もあります。ただし、これらのアッテネータの設計は、スペクトラム・アナライザの信号経路の非線形性に寄与しない方法で行われます。プリアンプを使用したとしても、基本的には、ステップ・アッテネータの後にある半導体部品のすべてが相互変調ひずみに寄与する可能性があります（入力ミキサが相互変調ひずみの通常の主要発生源であることに変わりはありませんが）。このケースでは、プリアンプのゲインによって増加するレベル分だけ入力ミキサに負荷を加えています。

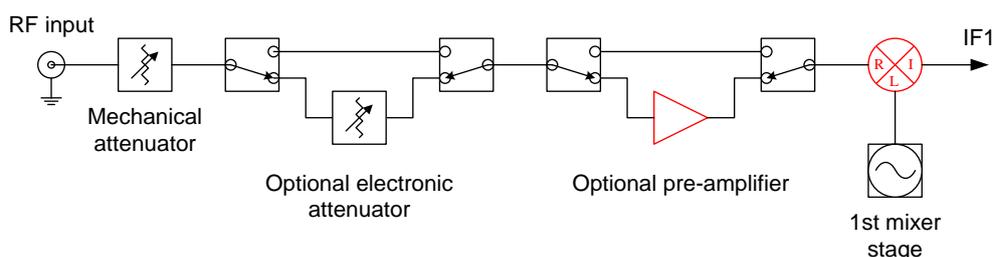


図 2 スペクトラム・アナライザの代表的な RF フロントエンド：赤色で示された機器は、相互変調積を発生させることがあります。

1.1 ダイナミックレンジ

測定対象信号の特定のパワーレベルでは、いくつかの要素がスペクトラム・アナライザのダイナミックレンジに影響を与えます。以下の要素も信号の特性によって変わってきます。

- 低パワーレベルに対するスペクトラム・アナライザの固有雑音レベル P_N
- 高パワーレベルに対する入力ミキサの圧縮
- 高レベル搬送波の近くにある小信号に対する搬送波の位相ノイズ

マルチトーン信号をスペクトラム・アナライザへ加えると、相互変調積によってダイナミックレンジが制限されることがあります。特に 3 次相互変調を考慮する必要があります。これは、この 3 次相互変調が最も高い相互変調積を発生させるためです。スペクトラム・アナライザのデータシートには、一定の周波数オフセットを有する 2 つの連続波搬送波の指定レベルにおいて相互変調のないダイナミックレンジとしてのツートーン相互変調積の仕様、あるいは一定の周波数オフセットを有する 1 つのツートーン連続波搬送波を使って測定するいわゆる 3 次インターセプトポイント (T.O.I.) を使用してのツートーン相互変調積の仕様が規定されています。T.O.I. は、加えられた連続波信号と同じレベルを持った 3 次相互変調積を発生させる理論パワーレベルで、次の式で計算することができます。

$$TOI = P_{in} + P_{\Delta} / 2 \quad (1)$$

ここで、TOI は 3 次インターセプトポイント（単位は dBm）、 P_{in} はツートーン入力信号の各トーンのレベル（単位は dBm）、 P_{Δ} は相互変調積の P_{in} に対する相対的な振幅です。図 3 に、これらの値を概略的に表した図を示します。

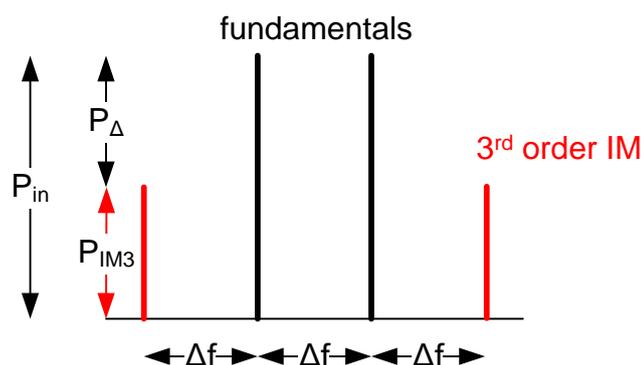


図3 3次相互変調成分と関連パラメータの概略図

実際の測定では、アクティブ素子内での圧縮によって T.O.I. のレベルに達することができません。ただし、次の式を使ってツートーン信号の特定レベルで相互変調のないダイナミックレンジ P_{Δ} を計算し性能指標を出すことは有用です。

$$P_{\Delta} = 2(TOI - P_{in}) \quad (2)$$

3次相互変調の振幅 P_{IM3} は次の式から求められます。

$$\begin{aligned} P_{IM3} &= P_{in} - P_{\Delta} \\ &= P_{in} - 2(TOI - P_{in}) \\ &= 3P_{in} - 2TOI \end{aligned} \quad (3)$$

ダイナミックレンジを制限する（特に低入力パワー時に）もう 1 つの要素となるのがスペクトラム・アナライザの雑音レベルです。データシートでは、この雑音レベルは表示平均雑音レベル（DANL）として指定されています。

すべてのひずみを結合すると、図 4 に示すダイナミックレンジ・チャートが得られます。低入力パワーでは雑音レベルによってダイナミックレンジは制限を受けますが、高レベルでは雑音レベルは 3 次相互変調ひずみとなります。2 次相互変調ひずみと位相ノイズもダイナミックレンジに影響を与えます。信号から遠く離れた周波数 ($f_1 + f_2$ と $f_2 - f_1$) にひずみ積は発生するため帯域内ひずみと ACLR に関係してこなくなるので、2 次相互変調をさらに考慮する必要はありません。線形領域内ですべてのひずみ源を合計すると、スペクトラム・アナライザに対する実ダイナミックレンジが得られます。この曲線の最大値は最適ミキサレベルと呼ばれます。スペクトラム・アナライザは、このポイントで最大ダイナミックレンジとなります。プリアンプとステップ・アッテネータを使用することで、ある入力信号に対するミキサレベルを最適値にセットすることができます。

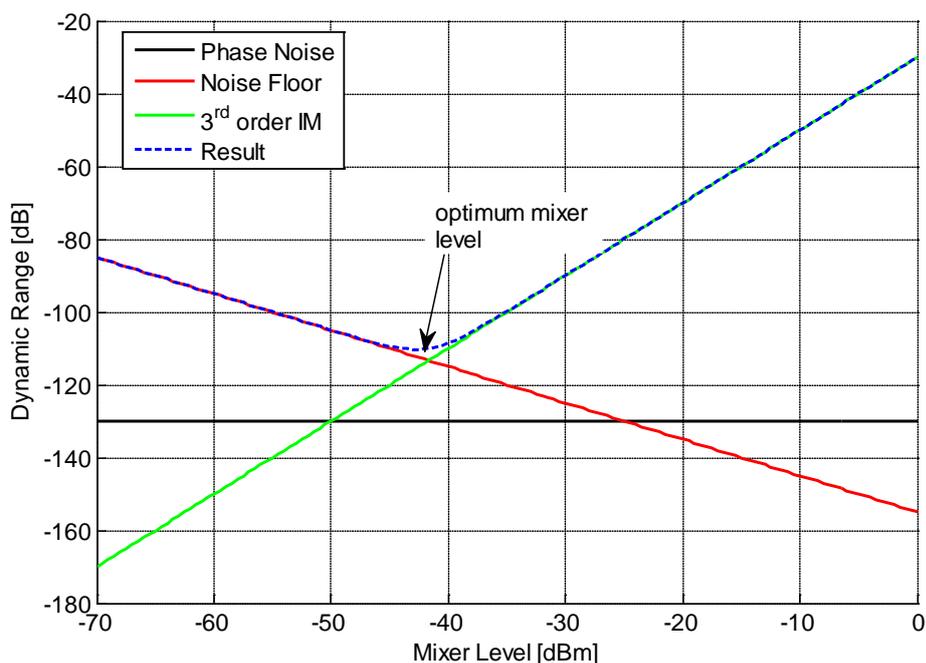


図4 ダイナミックレンジ・チャート : $TOI = 15 \text{ dBm}$ 、 $DANL = -155 \text{ dBm/Hz}$ 、位相ノイズ = -130 dBc

3次相互変調曲線は +2 の勾配を有しているため、ミキサレベルが 1dBm 増えると、3次相互変調積は 2dB 増加し、ダイナミックレンジは 2dB 低下します。一方、ミキサレベルが 1dB 増えるたびに雑音レベルは 1dB 低下します。

実測定では（特に広帯域信号に対する測定では）、信号の広い帯域幅に起因する雑音レベルの増加を考慮に入れなければなりません。アナライザの第 1 ミキサについて考える上でフィルタの設定は重要ではありません。これは、ミキサには常に信号の全帯域幅が入力されるため、信号の帯域幅が雑音レベルを決めるためです。ミキサレベルに対応する雑音レベルと帯域幅は、以下の式で与えられます。

$$P_N = [DANL + B - P_{in}] \text{ dB} \quad (4)$$

ここで、 B は信号の帯域幅（単位は dB）です。結果として、ダイナミックレンジは低下し、最適ミキサレベルは右へシフトします。図 5 に、 B が 100kHz の場合の例（50dB）を示します。

これらのトピックの詳細な説明は [1] で確認できます。説明書に添付されているスプレッドシートは、アナライザのデータシートパラメータをベースとしてダイナミックレンジ・チャートを作成する際の助けとなります。

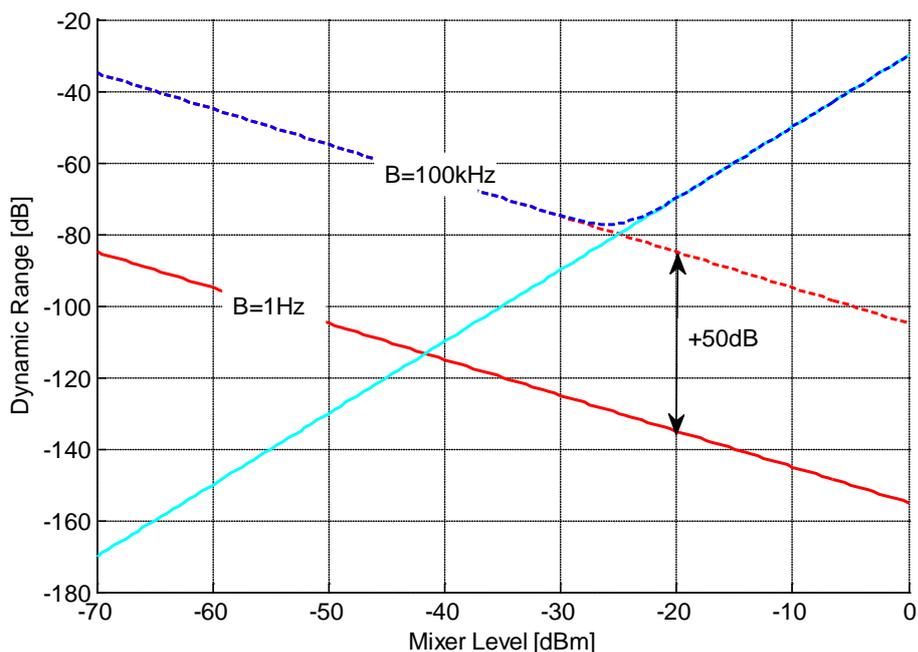


図5 広帯域信号に起因する雑音レベルの増大

1.2 ツートーン信号の例

DUT とスペクトラム・アナライザの相互変調積の相互作用を説明するために古典的なツートーン信号測定を使用します。ここでは2台のジェネレータの連続波信号を結合させてDUTへ印加し、その結果生じた3次相互変調積をスペクトラム・アナライザで測定します。これは、部品の相互変調ひずみ量の代表的な測定です。同じ振幅を有し、位相に相関性がなく、 Δf だけ離れている周波数 f_1 と f_2 のツートーン信号は、 $f_1 - \Delta f$ と $f_2 + \Delta f$ で3次相互変調積を発生させます。相互変調ひずみ量は P_{Δ} を使ってあらわします。図6に測定セットアップのブロック図を示します。

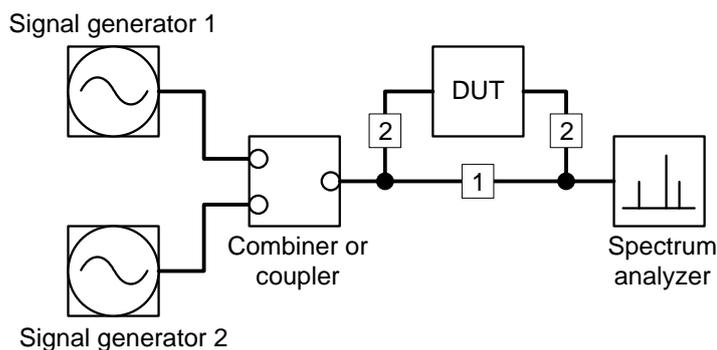


図6 DUT を接続していない場合 (経路1) と DUT を接続している場合 (経路2) の測定セットアップ

以下の例では、5.2GHz ($\Delta f = 312.5$ kHz) を中心として基本周波数が存在し、それぞれが -6dBm の信号レベルを持っています。

最初に、スペクトラム・アナライザの相互変調積に焦点を当てます。したがって、信号経路には DUT はありません (図 6 の経路 1)。そのため、アナライザのディスプレイで観察される相互変調積はすべてスペクトラム・アナライザの第 1 ミキサによって発生したものです。観察された相互変調積がスペクトラム・アナライザの中で発生したものであるか否かを確認するために、入力減衰量を変化させてみます。これによって第 1 ミキサへ入力するパワーが変化します。表示された相互変調積がアナライザの第 1 ミキサによって発生したものであれば、**入力減衰量の増加によって相互変調積の振幅は 2 倍の減少を起こします**。これは、ミキサがより線形性の高い範囲の中で作動することによるものです。図 7 に R&S FSQ26 での測定の結果を示します。

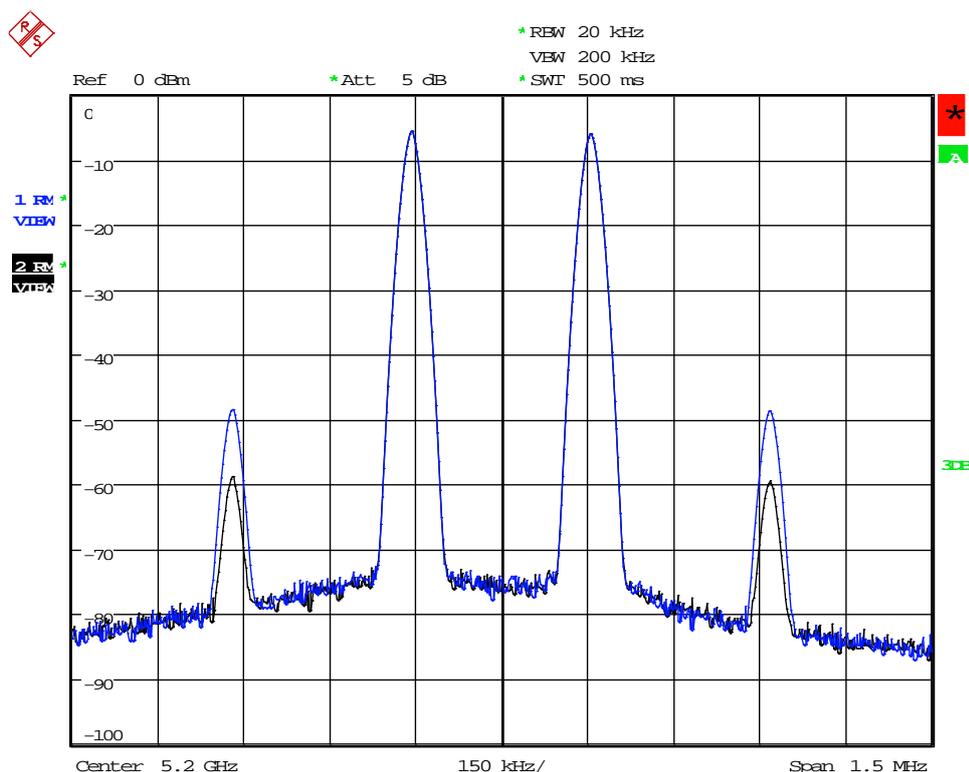


図 7 DUT を接続していない場合 (図 6 の信号経路 1) のツートーン信号測定の結果 : 入力減衰量の増加に伴って相互変調積が減少します。青色のトレースは 0dB の入力減衰量を示し、黒色のトレースは 5dB の入力減衰量を示します。

次のステップでは、DUT（広帯域パワー・アンプ）を信号経路へ挿入します（図 6 の経路 2）。これで、DUT とスペクトラム・アナライザがスペクトラム・アナライザの中で相互に作用し合う相互変調積を発生させます。結果として生じた信号を図 8 に示します。スペクトラム・アナライザへの入力パワーは、前の測定と同じレベルに保たれています。このセットアップで**入力減衰量が増加すると、減少していた前の測定とは反対に相互変調積は増加します**。この挙動は、DUT の相互変調積の位相とアナライザの相互変調積の位相が逆であるため、これらの相互変調積がお互いに消し合うことによって生じたものです。入力減衰量が増加すると、スペクトラム・アナライザの寄与する相互変調積は小さくなり、その結果、相殺効果が弱まります。

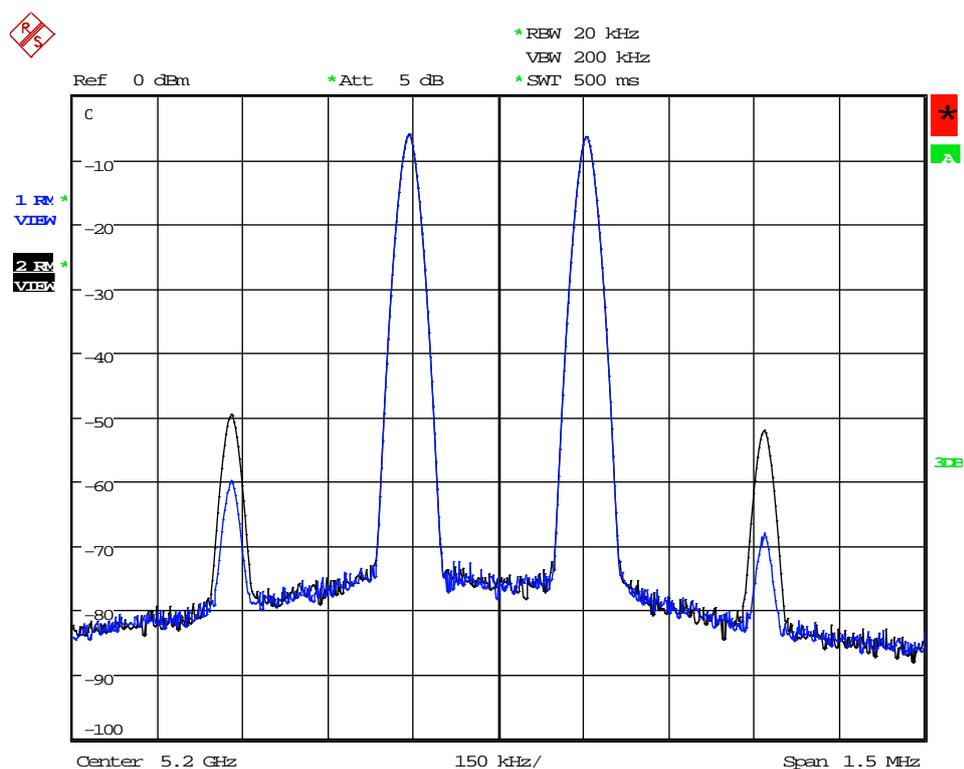


図 8 DUT を接続した場合の測定（図 6 の信号経路 2）。相互変調積の相殺が起こります。入力減衰量が増加すると、相互変調積も増加します。これは、相互変調積の相殺効果が弱まることによるものです。青色のトレースは 0dB の入力減衰量を示し、黒色のトレースは 5dB の入力減衰量を示します。

この効果の発生は、DUT とスペクトラム・アナライザの組み合わせおよびそれらの相互変調積と位相との間の特定の関係性に大きく依存します。したがって、異なるタイプの DUT またはスペクトラム・アナライザを使った試験では、強め合う相互変調干渉が発生する場合があります。そのようなケースでは、図 7 と似たような挙動が観察されると思われます。追加の減衰量を大きくするのに伴ってスペクトラム・アナライザが発生する相互変調積は小さくなっていき、最終的には DUT の相互変調積だけが残ります。どのようなケースでも、正しい測定値を得るためにはスペクトラム・アナライザによって発生する相互変調積をなくさなければなりません。

相互変調の相殺は、2 つの基本周波数の瞬時位相関係による影響をまったく受けません。相互変調の相殺は、機器のアーキテクチャの結果として構成される両素子の相互変調積の固有位相に大きく依存します。

加えて、位相関係は周波数とともに変化するため、この相殺効果は周波数によっても決まりません。そのため、同じセットアップでも、周波数によっては相互変調の相殺の量が変化することがあります。

相互変調積が相殺されることで、実際の特性よりも良い測定結果が得られます。一方、強め合う干渉を起こす相互変調積は悪い測定値を生みます。このことは、上記のような DUT の相互変調ひずみ測定、ACLR、および変調精度の測定で見られます。次章で EVM 測定の例を説明します。

1.3 OFDM の例

相互変調ひずみが変調精度（EVM に関して）へ与える影響を示すために、この例では OFDM 信号に焦点を当てて説明します。OFDM 信号では、すべてのサブキャリアは Δf だけ離れています。そのため、サブキャリアの任意のペアによって生成された相互変調積はこのペアの左右にあるサブキャリアのところに発生します。これにより、OFDM 信号の信号品質は相互変調ひずみの影響を強く受けます。これを例証するために、図 9 に示す構造を持つ信号を使用します。QPSK 変調を持つ 2 つの搬送波の後に 2 つの未使用のサブキャリアが続く、この構造は周波数全体にわたって何回も繰り返されます。サブキャリアペアの相互変調積は、このペアの左右にある未使用のサブキャリアの周波数のところに発生します。未使用のサブキャリアのコンスタレーション・ダイアグラムを分析することで、相互変調積に起因する信号ひずみを見ることができます。特に、強め合う干渉または弱め合う干渉のどちらが発生するかを決定する相互変調位相を容易に可視化することができます。

未使用のサブキャリアの期待されるデータポイントは、コンスタレーション・ダイアグラムの原点に存在します。追加ノイズによって、この原点の周りにポイントが分散します。相互変調ひずみはこれらのポイントを原点から外れた場所へシフトさせます。実際の OFDM システムでは未使用のサブキャリアの分析を行いませんが、ここでは、例証のために、相互変調の相殺の効果と実際の特性よりも良い EVM 値とをわかりやすく紹介します。

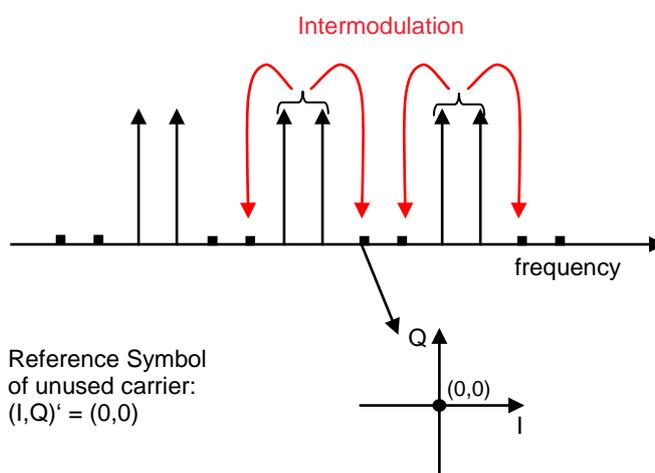


図 9 アクティブなサブキャリアと未使用のサブキャリアの交互ペアを有する OFDM サブキャリア構造：赤色の矢印は生成された相互変調積の位置を示します。

図 10 に、3 つの測定セットアップに対する未使用サブキャリアのコンスタレーション・ダイアグラムを示します。最初に、DUT が無い状態（図 6 の信号経路 1）で入力減衰量が 0dB の測定を示します（赤紫色で示したもの）。ここで、シフトしたシンボルが FSQ26 の相互変調積によってもたらされた結果を示します。次に、DUT をセットアップに組み込み（信号経路 2）、スペクトラム・アナライザが相互変調積を発生させないように 5dB の入力減衰量を使用した測定を示します（青色で示したもの）。ここでは、DUT によって発生した相互変調積のみが結果に影響を与えています。最後のステップでは、入力減衰量を 0dB へ低下させて（赤色で示したもの）、DUT とアナライザの相互変調積が相互に影響を及ぼし合うようにしています。これらの相互変調積の位相が逆であるため、相互変調積は弱め合う干渉となり、相殺が起こっています（図 8 と比較）。シンボルは原点にある理想的なシンボルの近くへシフトし、これによって、EVM が大幅に減少しています。そのために、DUT の変調精度が過大評価されています。

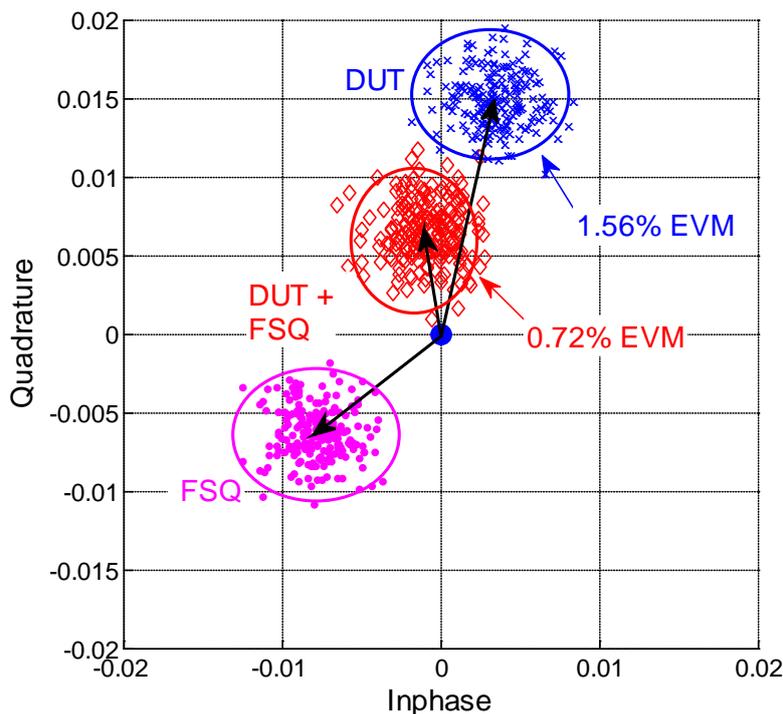


図 10 異なるセットアップにおいて相互変調ひずみが原因でシフトしたシンボルを示した未使用サブキャリアのコンスタレーション・ダイアグラム：基準シンボルは中央に存在します。

2 相互変調ひずみの推定

DUT とスペクトラム・アナライザがいずれも同じような T.O.I. を持ち、相互変調積が似たような振幅を持っている場合、相互変調の相殺または増幅の機会が生じます。DUT の真の振幅 P_{Δ} はアナライザによってひずみます。アナライザに起因する誤差を希望のレベルまで減少させるために使うべき入力減衰量をここで決めるのがエンジニアの仕事です。

データシートには T.O.I. が記載されていますが、ツートーン信号を使用し、実際の値を測定してみることを推奨します。前の例では、FSQ26 の T.O.I. の測定値は 15dBm で、DUT の T.O.I. の測定値は 10dBm です。(2) 式に従って、相互変調積の振幅 P_{Δ} は、T.O.I. を使って計算することができます。

入力振幅がたとえば -10dBm の場合、FSQ26 は 50dB の $P_{\Delta,SA}$ を有する相互変調積を発生させ (T.O.I. は 15 dBm)、DUT は 40dB の $P_{\Delta,DUT}$ を有する相互変調積を発生させます (T.O.I. は 10dBm)。スペクトラム・アナライザの相互変調積は DUT の相互変調積より 10dB 低いだけなので、位相関係によっては重大な干渉 (強め合う干渉と弱め合う干渉のいずれも) を起こす場合があります。

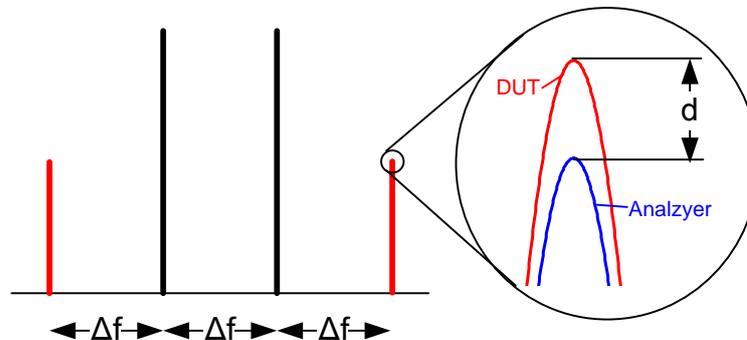


図 11 この詳細図は、アナライザ～DUT 間の相互変調振幅の差を示しています。

アナライザと DUT の相互変調積が干渉したときに生じる振幅誤差は、以下の式で与えられます。

$$e_A = 20 \log \left(1 \pm 10^{\frac{d}{20}} \right) dB \quad (5)$$

ここで、 d はアナライザの相互変調積と DUT の相互変調積の間の負の振幅差 (単位は dB) で、上記の例では -10dB となります (図 11 参照)。同位相の相互変調積では (5) 式の括弧の中でプラスの符号を使用し、逆位相の相互変調積ではマイナスの符号を使用します。上記の例では、以下の値が得られ (逆位相を仮定しているため、相互変調の相殺が起こる)、DUT の相互変調積の振幅は予測した値より 3.3dB 低い値となっています。

$$e_A = 20 \log \left(1 - 10^{\frac{-10}{20}} \right) = -3.3dB$$

干渉を回避するためには、相互変調積の振幅が小さくなるようにアナライザのミキサへ入力するパワーを減少させる必要があります。これは、十分大きな入力減衰量を加えることで行います。上記の例でたとえば 10dB の減衰量を加えることで、 P_{in} は 10dB だけ減少して -20dBm へ下がり、 $P_{\Delta,SA}$ は 70dB となります。これでスペクトラム・アナライザの相互変調積は DUT より 30dB 低い値となり、振幅誤差が以下の値へ減少します。

$$e_A = 20 \log \left(1 - 10^{-20/20} \right) = -0.3 \text{ dB}$$

図 12 に、同位相干渉と逆位相干渉の両ケースにおける振幅差 d と発生誤差 e_A との関係を示します。振幅が同じ場合 ($d = 0 \text{ dB}$) には、振幅が完全に相殺されて無限の誤差 (dB) が発生します。

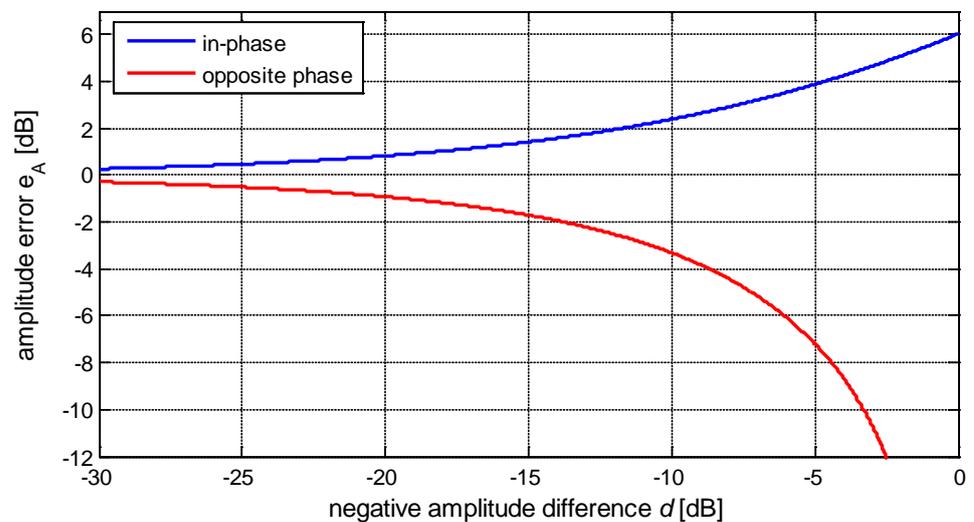


図 12 DUT の相互変調積とスペクトラム・アナライザの相互変調積の間の振幅差および 3 次相互変調積に対して発生する振幅誤差

エンジニアは、おそらく、そのアプリケーションに対する最大許容振幅誤差 e_A を最初に規定し、図 12 から必要な振幅差 d_{goal} を読み取るか、以下の値を計算するものと考えられます。

- 相互変調積の増幅： $d_{goal} = 20 \log \left(10^{e_A/20} - 1 \right) \text{ dB}$
- 相互変調積の相殺： $d_{goal} = 20 \log \left(1 - 10^{e_A/20} \right) \text{ dB}$

(2) 式をベースに、DUT とアナライザの P_{Δ} を計算できます。現在の振幅差 $d_{curr} = P_{\Delta,SA} - P_{\Delta,DUT}$ が d_{goal} より低い場合には、アナライザの相互変調積を減少させるためにミキサレベルを下げなければなりません。その結果として、最適ミキサレベルが低い値へシフトします。これは、 $d/2$ だけ低い有効 T.O.I. として表すことができます。

$$TOI_{eff} = TOI - d_{goal} / 2 \quad (6)$$

たとえば、 d_{goal} が 20 dB、 d_{curr} が 10 dB、TOI が 15dBm の場合、有効 TOI は 5dBm となります。ここで、変更後の値を使ったダイナミックレンジ・チャートを再描画することができます（図 13 参照）。振幅誤差要件がどのように 3 次相互変調曲線を d_{goal} だけ上にシフトさせているか、また、それによってどのように最適ミキサレベルが下にシフトしているかを確認することができます。ただし、これによってダイナミックレンジも低下します。ミキサレベルを必要な量だけ低下させるために追加する必要がある追加減衰量は、以下の式から求めることができ、上記の例では 10dB となります。

$$Att = (d_{goal} - d_{curr}) / 2 \text{ dB} \tag{7}$$

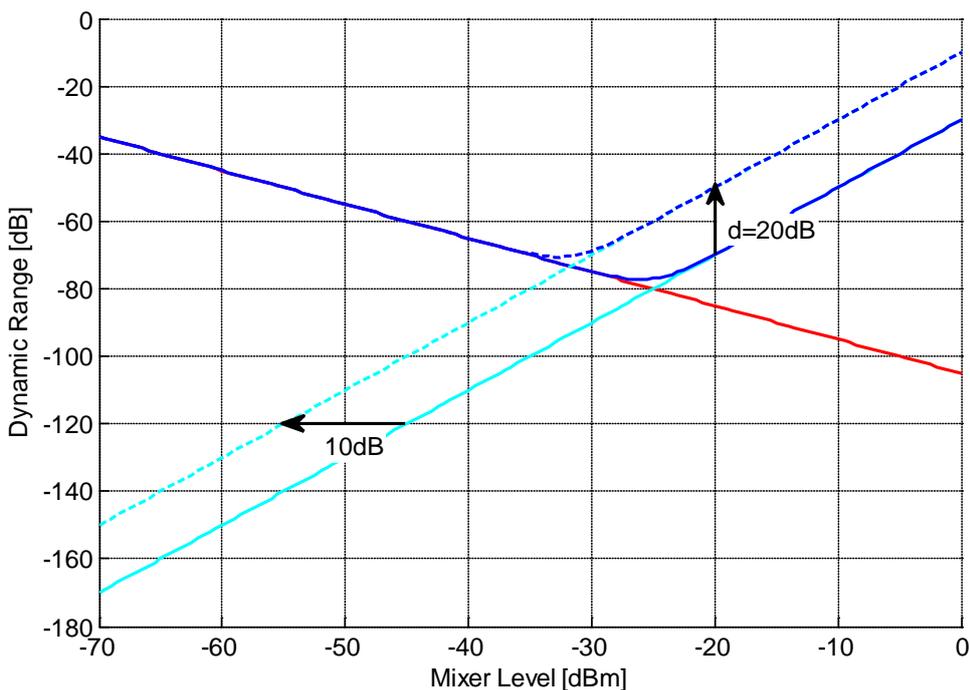


図 13 -0.3dB の振幅誤差を達成するために 10 dB の減衰量を追加した場合のダイナミックレンジ・チャート（信号の帯域幅：100kHz、 TOI_{eff} ：5dBm）

3 結論

DUT の相互変調積とスペクトラム・アナライザの相互変調積が干渉すると、相互変調の測定だけではなく ACLR や変調精度についても誤った測定値を生じさせます。DUT の相互変調積とアナライザの相互変調積の振幅が近い場合、誤った測定値が生じる原因となるので注意が必要です。強め合う相互変調干渉または弱め合う相互変調干渉のどちらが起こるかによって、表示される結果が DUT の実性能より悪くなったり良くなったりすることがあります。

アナライザが相互変調ひずみへ与える影響を低減するためには、許容誤差へ達するようにミキサレベルを下げる必要があります。これを行うには、入力減衰量を追加します。

特定の測定セットアップに対して相互変調ひずみに与えるアナライザの影響が無視できるものであることを確認するために、ツートーン信号測定を使って相互変調の相殺または増幅のチェックを行うことができます。これによって、干渉する相互変調積が原因で生じる振幅誤差を推定することができます。

相互変調ひずみの傾向は、スペクトラム・アナライザのアーキテクチャの違いによって決まります。R&S FSW または R&S FSQ のようなアナライザでは、相互変調積が測定値へ加えられる可能性は低くなります。これは、これらのアナライザがそれぞれ 20dBm と 23dBm というかなり高い T.O.I. を有していることによるものです。これらのアナライザでは、入力ミキサを守るための入力減衰量が小さくて済みます。このことによってダイナミックレンジが得られるという効果もあります。

4 参考文献

- [1] “Fundamentals of Spectrum Analysis”, C. Rauscher、ローデ・シュワルツ、2001 年
- [2] “スペクトラム・アナライザによる高調波の測定：アプリケーションノート”、1EF78、2012 年
- [3] “最新式スペクトラム・アナライザによる相互変調歪み測定：アプリケーションノート”、1EF79、2012 年

5 オーダー情報

名称	型式	オーダー番号
R&S FSW8	シグナル・スペクトラム・アナライザ、2Hz~8GHz	1312.8000.08
R&S FSW13	シグナル・スペクトラム・アナライザ、2Hz~13.6GHz	1312.8000.13
R&S FSW26	シグナル・スペクトラム・アナライザ、2Hz~26.5GHz	1312.8000.26
R&S FSW43	シグナル・スペクトラム・アナライザ、2Hz~43.5GHz	1312.8000.43
R&S FSQ8	シグナル・アナライザ、20Hz~8GHz	1313.9100.08
R&S FSQ26	シグナル・アナライザ、20Hz~26.5GHz	1313.9100.26
R&S FSQ40	シグナル・アナライザ、20Hz~40GHz	1313.9100.40

ローデ・シュワルツについて

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

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

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社／東京オフィス

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1

住友不動産西新宿ビル 27階

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

神奈川オフィス

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-8-12

Attend on Tower 16階

TEL:045-477-3570 (代) FAX:045-471-7678

大阪オフィス

〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-20

TEK 第2ビル 8階

TEL:06-6310-9651 (代) FAX:06-6330-9651

サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷 4-2-11

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