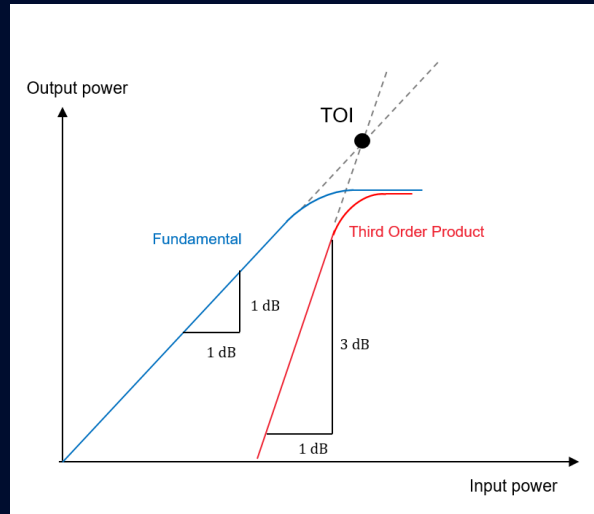


# 3次インターセプトの基礎



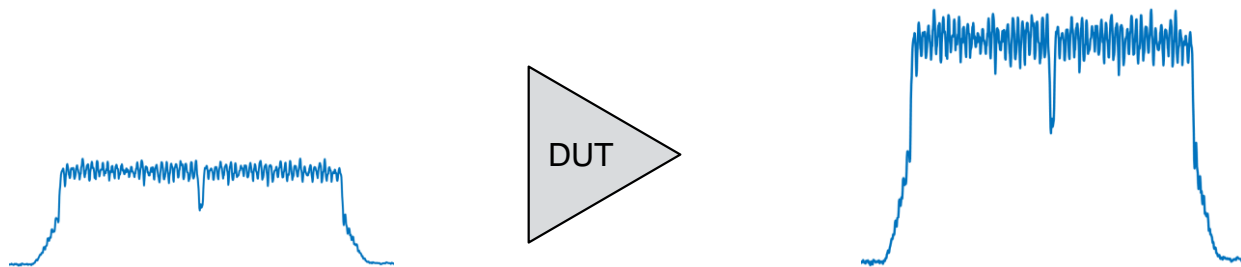
**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real



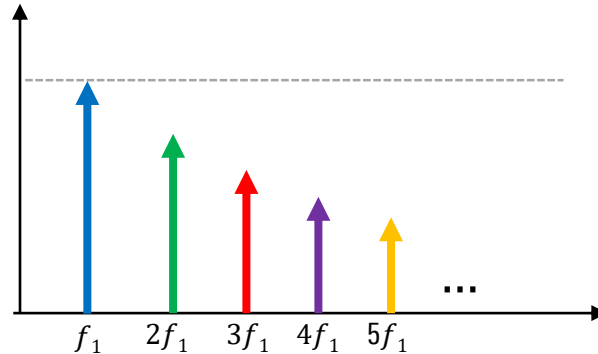
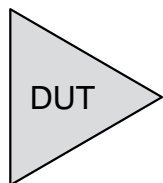
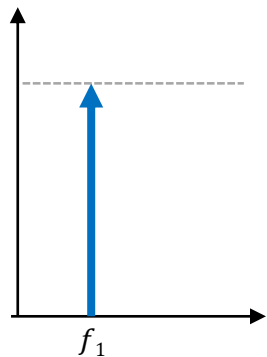
# 線形性とは？

- ▶ **線形性**：デバイスの出力は、その入力に正比例する
- ▶ デバイスは通常、特定の入力電力範囲でのみ線形である
- ▶ 非線形領域で動作すると、**高調波および相互変調成分**の形で歪みが発生する可能性がある



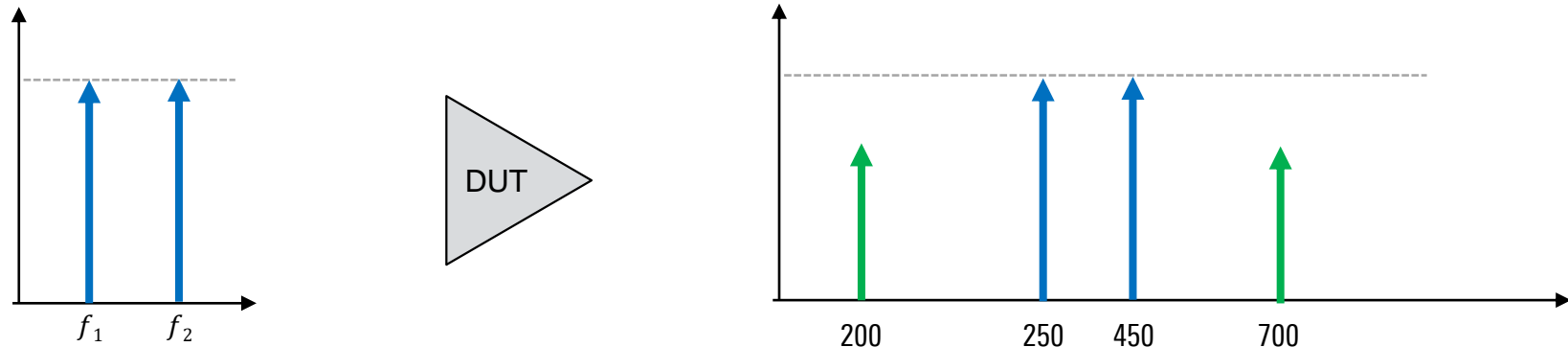
# 高調波について

- ▶ 高調波は、基本信号の整数倍で現れる信号のコピーである
- ▶ 高調波の振幅は通常、高調波の次数が増加するにつれて減少する
- ▶ 高調波は、ほとんどの場合において望ましくない



# 相互変調について

- ▶ 相互変調は、非線形デバイスで2つ (またはそれ以上) の信号が混合するときが発生する
- ▶ ミキシングは、2つの周波数の和と差で新しい信号を生成する
- ▶ 例：
  - 入力周波数  $f_1 = 250$  MHz および  $f_2 = 450$  MHz
  - 出力周波数  $f_2 + f_1 = 700$  MHz および  $f_2 - f_1 = 200$  MHz



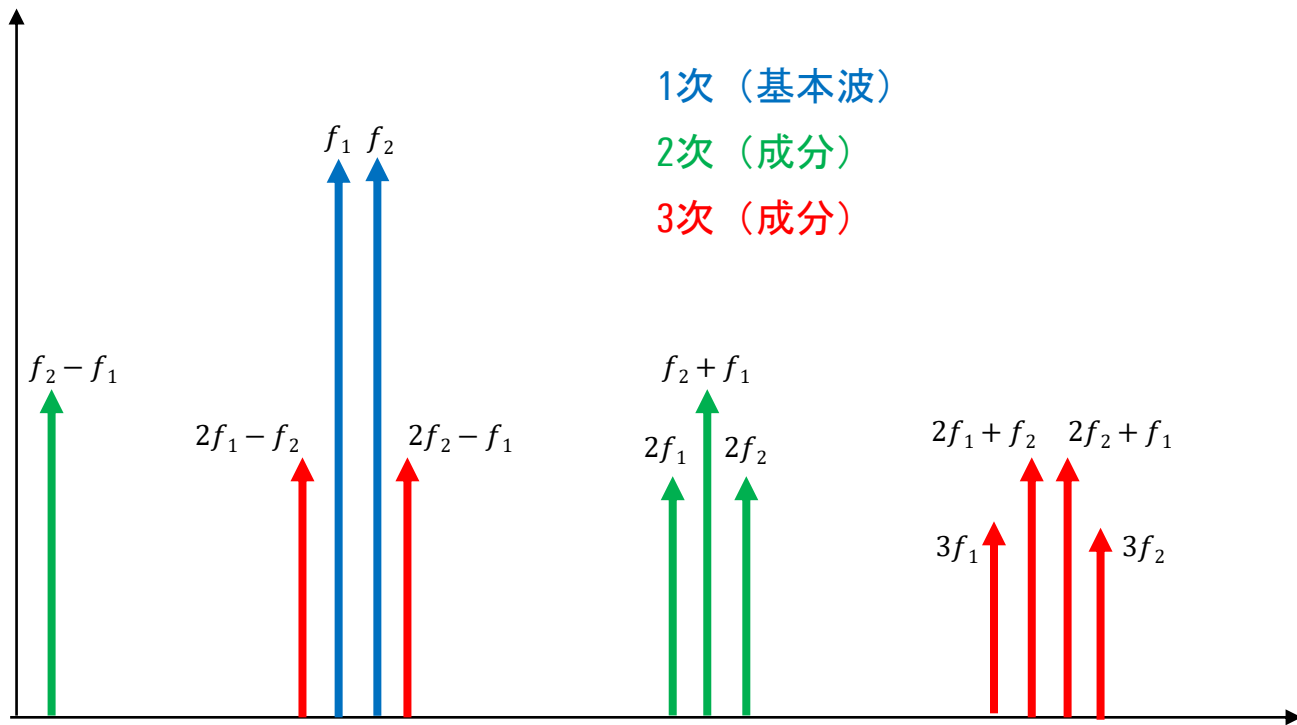
# 高次成分

- ▶ トーン  $f_1$  と  $f_2$  は互いに混合することができる
- ▶ また、 $2f_1$  や  $2f_2$  など、互いの高調波と混合することもできる
- ▶ 追加の成分は次の場所で作成される

$$2f_1 + f_2 \quad 2f_1 - f_2 \quad 2f_2 + f_1 \quad 2f_2 - f_1 \quad \dots$$

- ▶ 高調波と相互変調の**次数**は、それらの (符号なし) 係数の合計である
  - $2f_1$  は **2次** (2)
  - $f_1 + f_2$  も **2次** (1 + 1)
  - $3f_1$  は **3次** (3)
  - $2f_2 - f_1$  と  $2f_2 + f_1$  はどちらも **3次** (2 + 1)

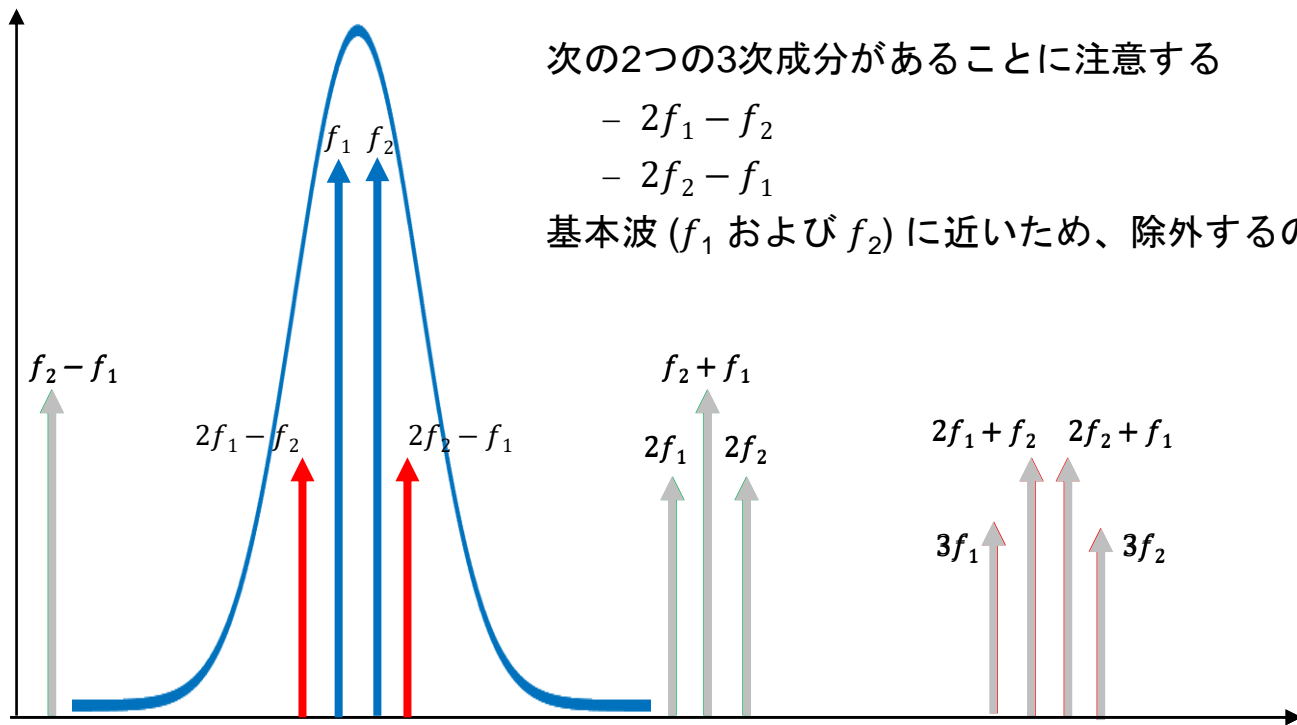
# 高調波と相互変調成分



# 高調波成分の問題

- ▶ 高調波および相互変調成分は望ましくない信号である
  - 隣接チャネルへの漏れ、ノイズまたは歪みなどを作成する
- ▶ 望ましくない相互変調は、しばしば**相互変調歪み (IMD)** と呼ばれる
- ▶ 一部の成分は対応を考慮する必要がない
  - 高次高調波は振幅が非常に小さいため、通常は無視できる
  - 高調波成分は増幅器の帯域幅、フィルタの通過帯域などの外にある場合が多い
- ▶ 問題のある成分に対処する一般的な方法はフィルタリングを使用することですが、対象となる成分の周波数が目的となる基本信号に非常に近い場合、これは困難となる

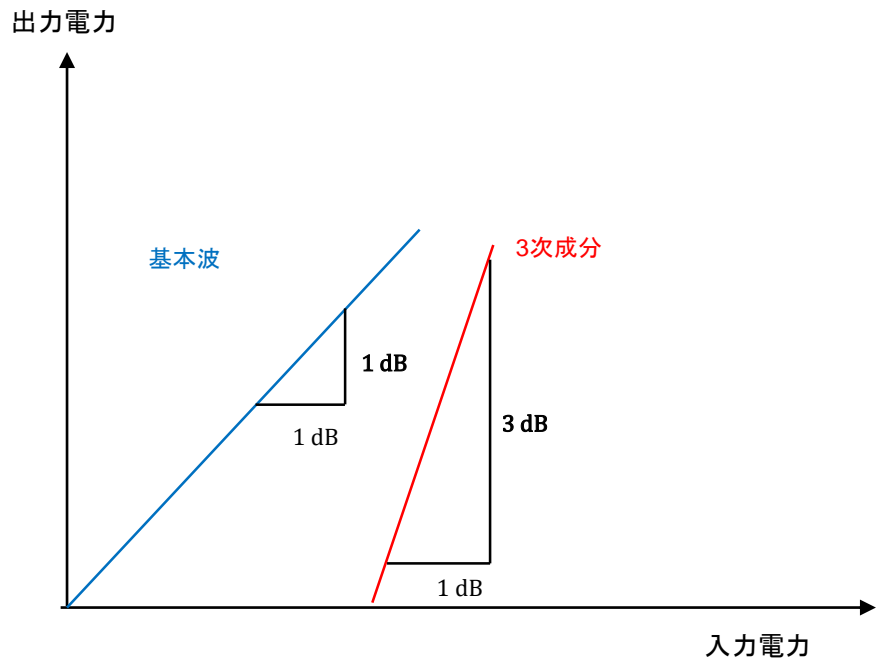
# 製品のフィルタリング





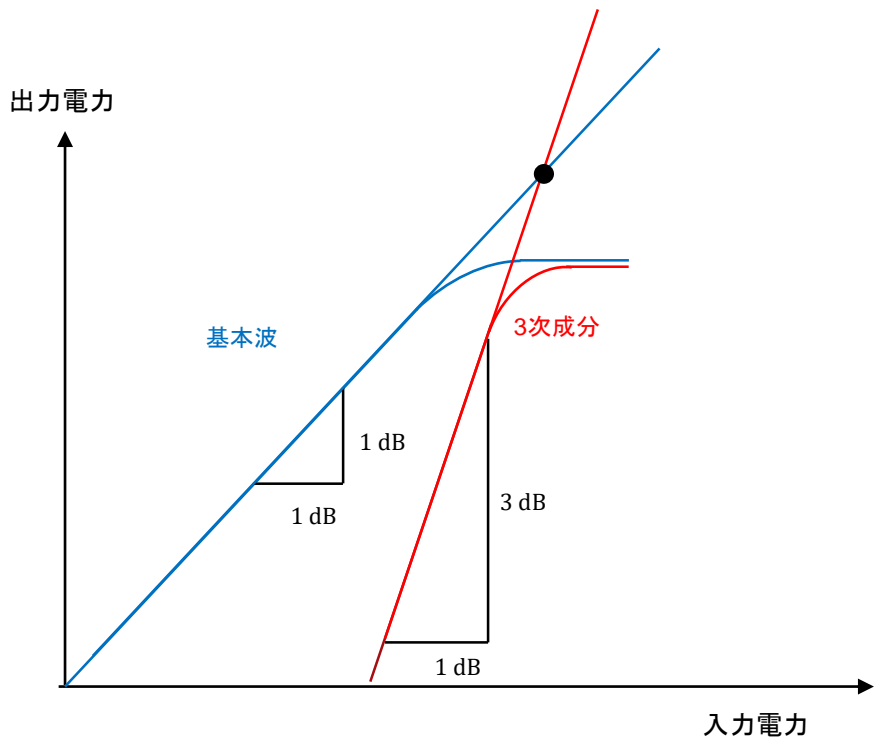
# プロット振幅

- ▶ フィルタリングの問題に加えて、3次相互変調成分はさらに複雑な問題を引き起こす



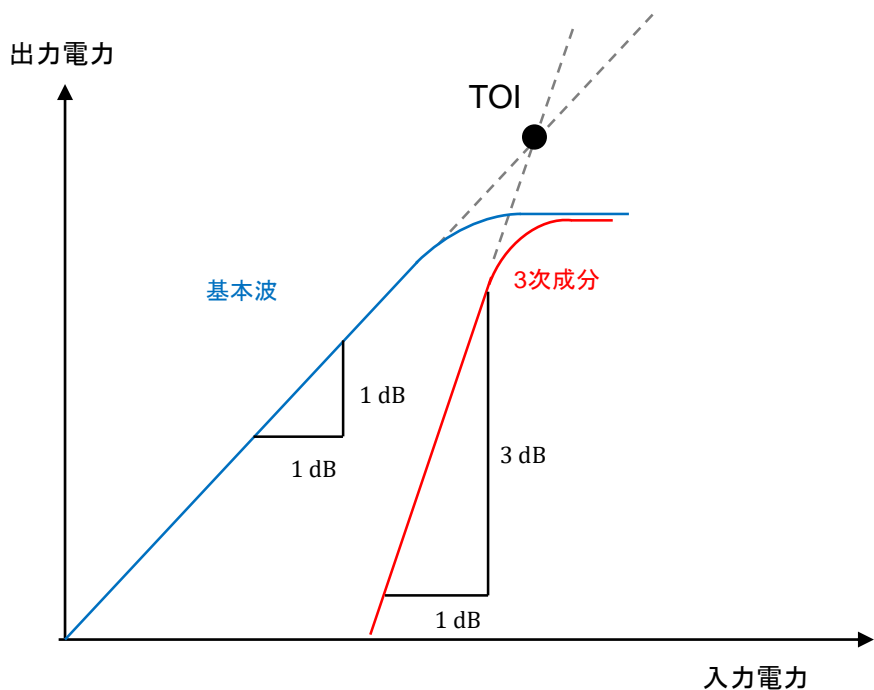
# 圧縮

- ▶ これらの2つのゲインラインがある時点で一致するように見える
- ▶ 特定の入力電力では、出力電力は入力電力に比例して増加しなくなる
- ▶ デバイスが圧縮状態になると、ゲインラインがカーブしたり平らになったりすることに注意する



# 3次インターセプト

- ▶ ただし、2本の線を延長すると、それらが交わる点を計算できる
- ▶ これが3次インターセプト (TOI) ポイントである
- ▶ 3次インターセプトは、実測値から算出した理論値である
- ▶ 厳密に言えば、TOI を直接「測定」することはできない
- ▶ しかし、多くの人はTOI を「測定」と呼んでいる



# TOIは何に使用されますか？

- ▶ 3次インターセプトは、デバイスの直線性の最も一般的な尺度である
- ▶ TOIが高いほど、線形性が向上し、相互変調歪みのレベルが低くなる
- ▶ 多くの仕様/データシートでは、TOIは**IP3**と呼ばれることに注意する

**MSiP** Mini-Circuits System In Package

## Ultra High IP3 Amplifier Module **HXG-242+**

50Ω 0.7 to 2.4 GHz

### The Big Deal

- Industry leading High IP3, 46 dBm typ.
- Integrated optimization circuits
- Linearity with low current consumption

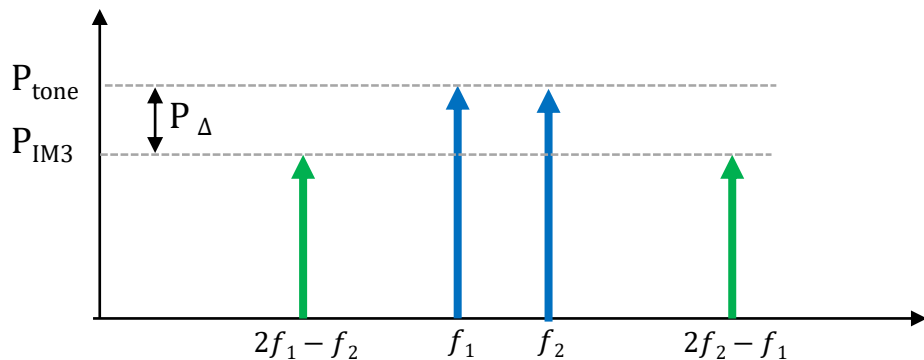
**F1763**  Active

### Ultra-linear Single-channel Mixer for Rx Applications

The IDT **F1701**, **F1751**, and F1763 are a pin-compatible series of RF to IF Single Channel Downconverting Mixers ideal for many Receiver (Rx) applications. These devices employ Zero-Distortion™ technology to practically eliminate the 3rd order intermodulation response. These devices feature high gain (~12 dB) and low noise figure in addition to outstanding Output IP3 (> +40 dBm)

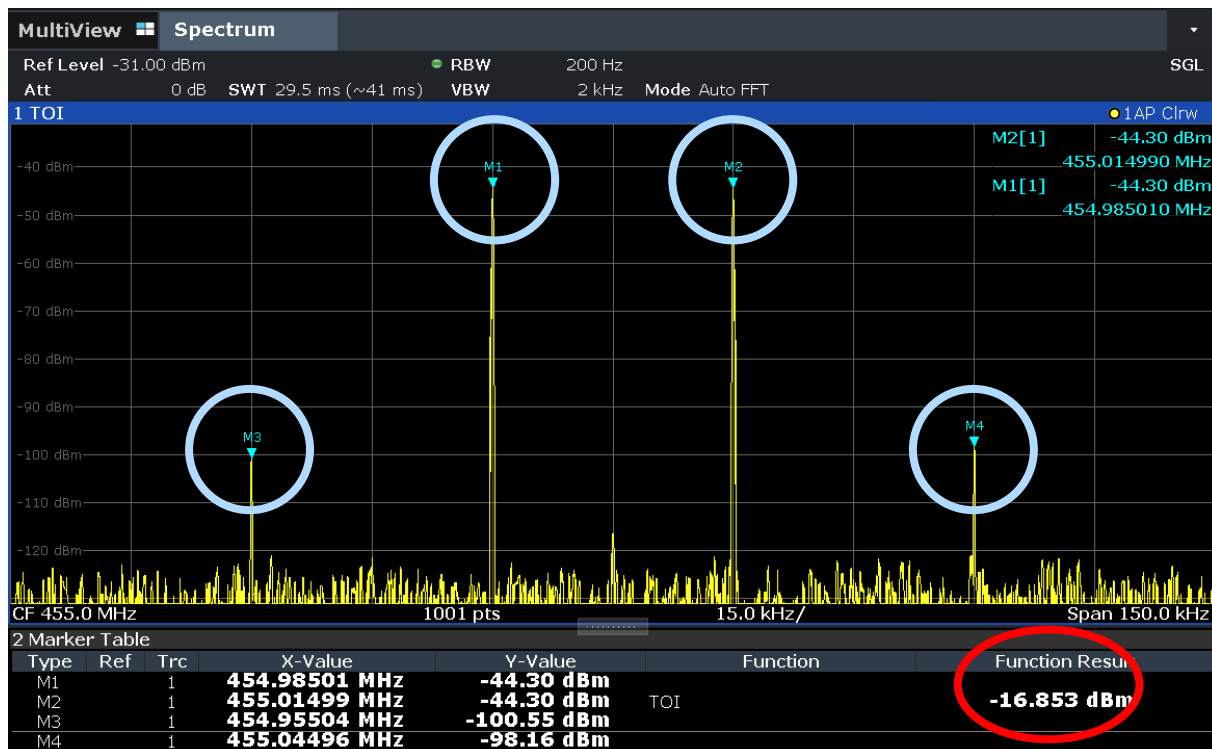
# 基本的な TOI テストの方法論

- ▶ TOI は、被測定デバイス (DUT) に 2つの信号を送信することによって測定できる
- ▶ これらの信号は通常、等振幅の近接した CW 信号である
- ▶ アナライザでは、これら 2つの基本信号 ( $P_{\text{tone}}$ ) とそれらに隣接する 3次相互変調成分 ( $P_{\text{IM3}}$ ) のレベルが測定される
- ▶ 次に、これらのレベル値から 3次インターセプトが計算される



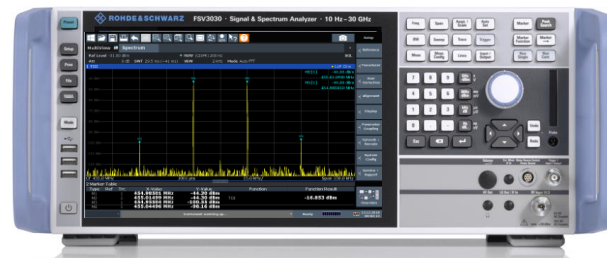
$$TOI = P_{\text{tone}} + \frac{P_{\Delta}}{2}$$

# 3次インターセプト測定結果



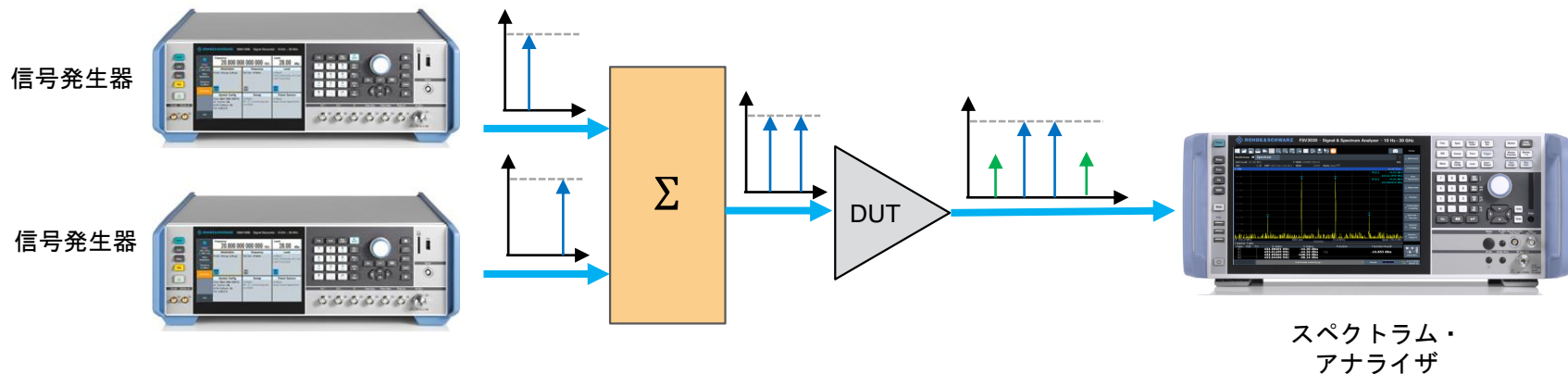
# TOIテストに関する考慮事項

- ▶ 信号発生器やアナライザによって生成されたIMDではなく、被測定デバイスによって生成されたIMDを測定したいと考えている
  - 適切なソース分離により、IMDへの発生器の影響を最小限に抑えることができる
  - 減衰（アッテネータ）を使用して、アナライザ自身でIMDが生成されていないことを確認できる
- ▶ 有効で再現性のある結果を得るには、信号発生器とアナライザの両方の性能が重要である



# TOI テスト構成

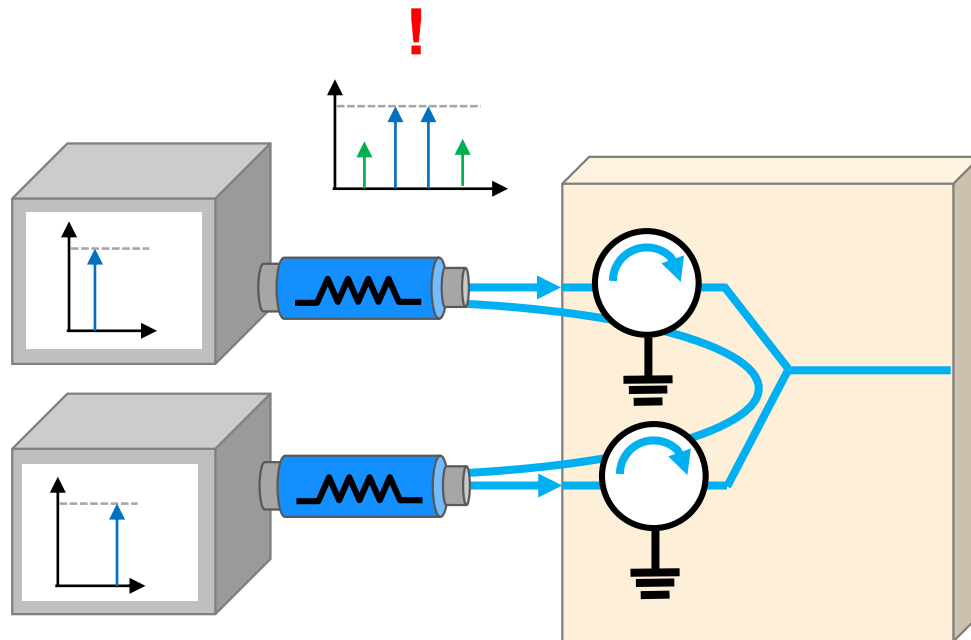
- ▶ 信号発生器とスペクトラム・アナライザを使用する測定方法が最も一般的
- ▶ TOI テストでは、2つのトーンに独立した信号源が必要である
- ▶ DUTに到達するまでトーンが混ざらないようにする必要がある





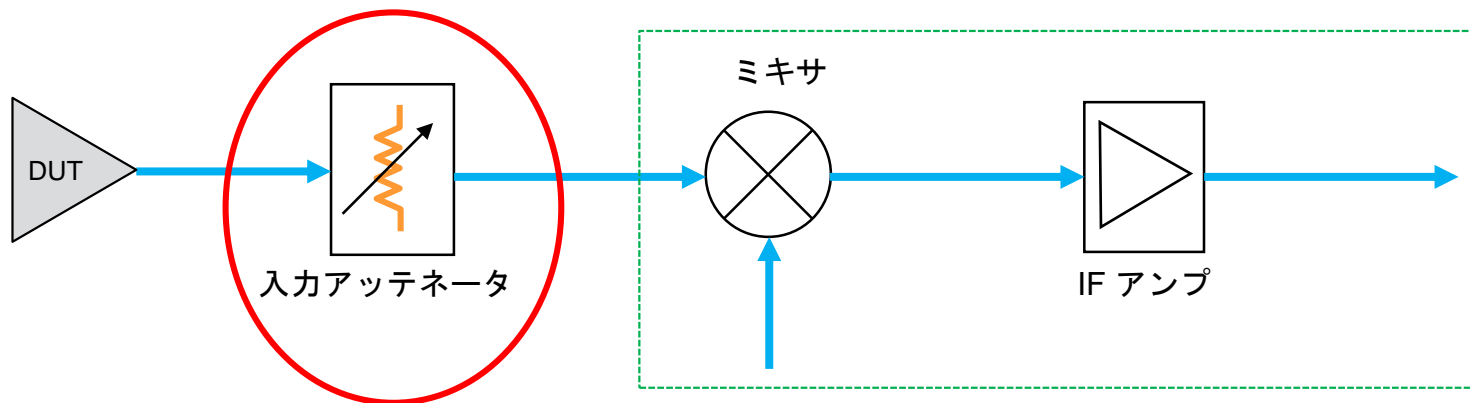
# ソース分離

- ▶ 発生器のポートを分離することで、一方の電源からの電力が他方の電源に漏れる（および内部で混合する）のを防ぐ
- ▶ 分離は次の方法で強化できる
  - 信号発生器の出力でアッテネータを使用
  - 方向性結合器またはアイソレータを使用して信号を結合する

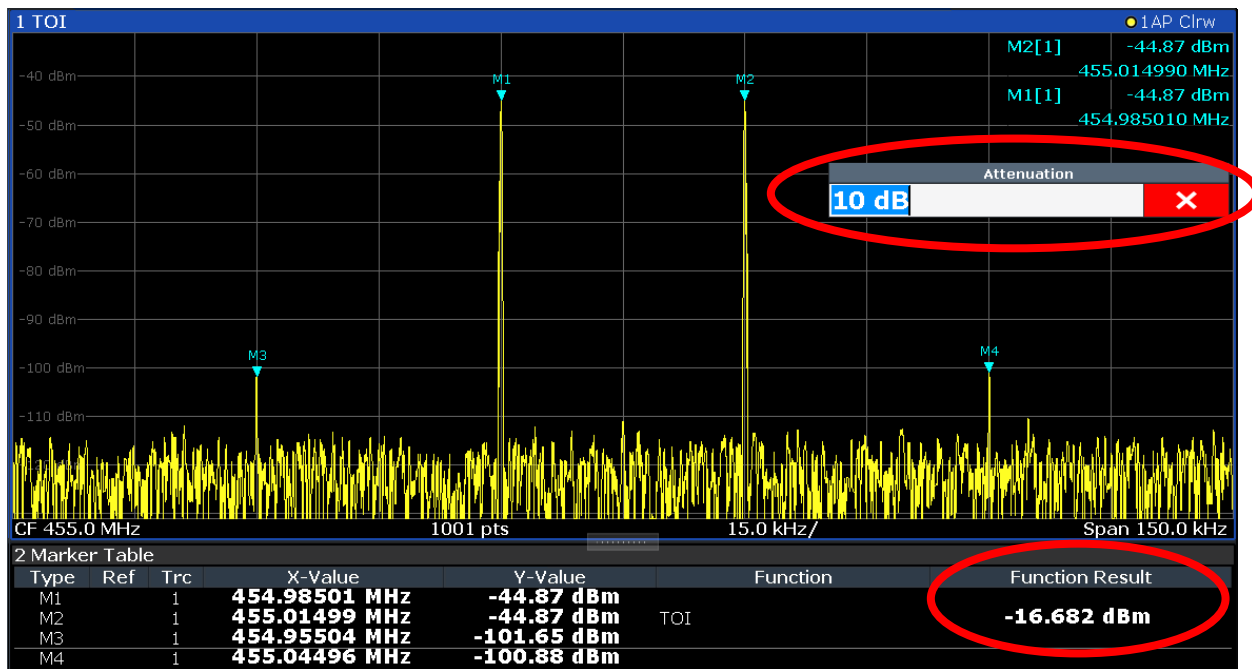


# アナライザでのアッテネータの使用

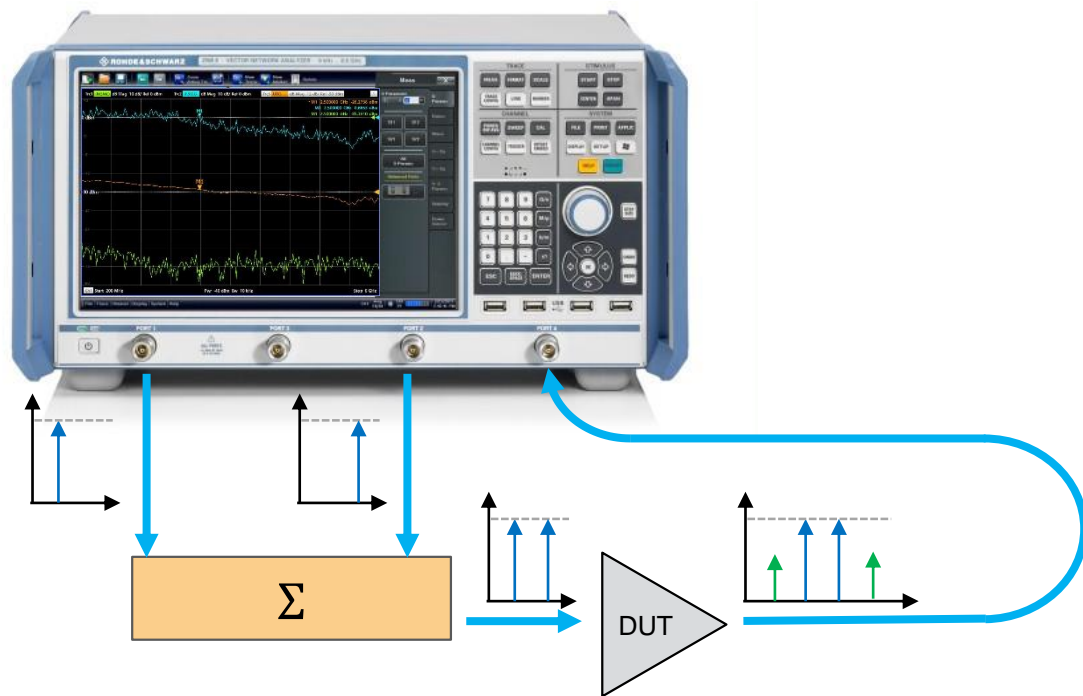
- ▶ 入力アッテネータを使用して、IMD が (DUT で生成されているのではなく) アナライザ自体で生成されているかどうかを判断できる
- ▶ アッテネータ (通常 ~ 10 dB) を追加し、歪みレベルを観測する
- ▶ 歪みが減少する場合、これは IMD がアナライザ内部で生成されていることを意味する
- ▶ 歪みが変わらない場合、これは IMD が外部で生成されていることを意味する



# アッテネータの使用例

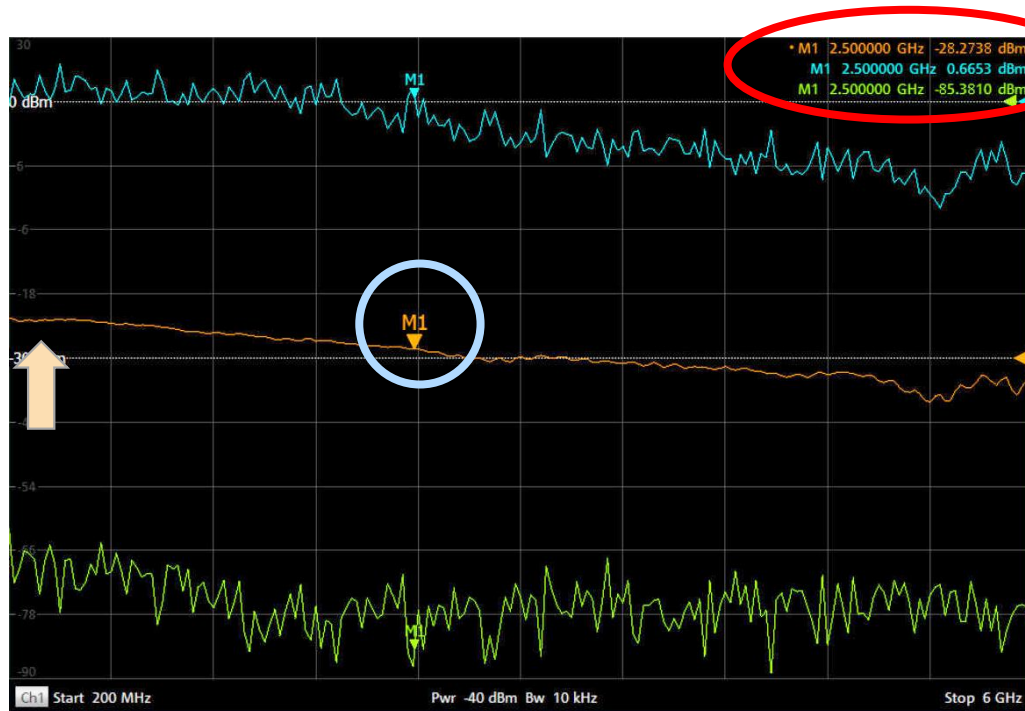


# ネットワークアナライザによるTOIの測定



# 3次インターセプト測定結果 - ネットワーク アナライザ

基本波



3次  
インターセプト



3次成分



# まとめ

- ▶ 非線形領域にあるデバイスは、高調波と相互変調成分を生成する
- ▶ 基本信号と2次高調波の組み合わせにより、3次相互変調成分が生成され、その一部は基本信号に非常に近くなる
- ▶ 3次インターセプト (または IP3) は、相互変調歪み (IMD) を定量化し、拡張してDUTの直線性を測定する方法である
- ▶ 3次インターセプトを測定する場合、ソース (信号発生器) を分離しておくことが重要である
- ▶ アッテネータを使用して、IMD がアナライザの外部で作成されていることを確認できる

