



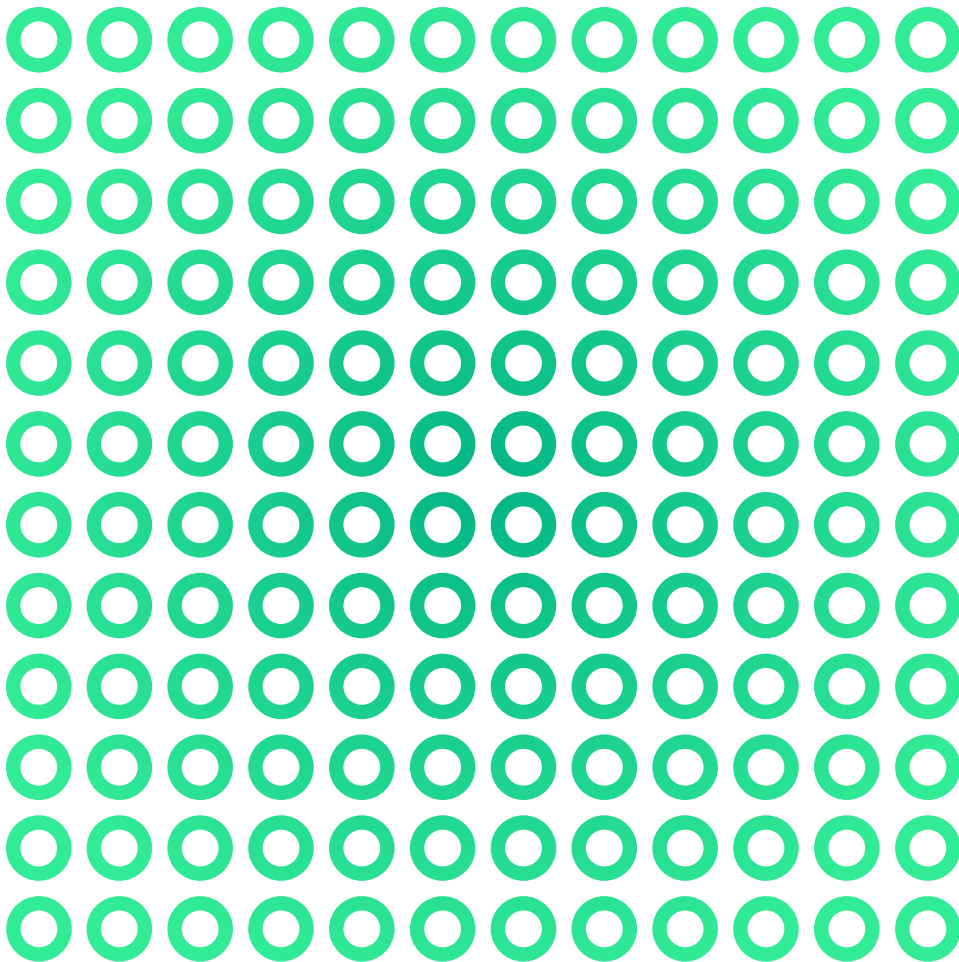
NI is now part of Emerson.



EMERSON™

アプリケーションノート

ベクトル信号トランシーバを使用した高調波測定





目次

- 03** 概要
- 03** 高調波測定におけるVSTのメリット
 - 周波数帯域および帯域幅
 - モジュールの厳密な同期
 - スモールフォームファクタと費用対効果
- 05** VSTと従来型VSAとの性能比較
 - 平均ノイズ密度
 - アナライザ入力スプリアスエミッションおよび高調波
- 08** VSTを使用したDUT高調波測定
 - テスト装置のセットアップ
 - 測定のセットアップ
 - 測定結果
- 11** まとめ

概要

高調波信号は、非線形デバイスで信号の基本周波数の整数倍の成分として生じます。RFテスト/検証の分野では、高調波信号は動作周波数の範囲外で干渉を引き起こす可能性があるため、望ましくありません。そのため、デバイスの検証では高調波信号の正確な測定が重要になります。

従来から、高調波測定には高性能ベクトル信号アナライザ (VSA) や専用の高調波測定ユニット (HMU) が使用されています。ベクトル信号トランシーバ (VST) は、周波数レンジやアナライザのノイズ性能、また場合によっては即時帯域幅に制限があるため、高調波測定向けとはみなされていませんでした。最新世代のVSTでは、こうした制限が克服され、高調波テストにさらなるメリットをもたらします。

高調波測定におけるVSTのメリット

ベクトル信号トランシーバ (VST) は、RF/ベースバンドのベクトル信号アナライザ (VSA) と発生器を1つのデバイスに統合したものです。このアプリケーションノートでは、測定に用いるVSTとしてPXIe-5842について説明します。このVSTは、PXIe-5842モジュールと、優れた位相ノイズ性能を備える高性能デュアル内部発振器 (LO) シンセサイザPXIe-5655で構成されています。PXIプラットフォーム上に構築され、測定機能が大幅に強化されており、特に高調波測定を行う場合に役立ちます。



周波数帯域および帯域幅

PXIe-5842 VSTは、30 MHz～26.5 GHzの周波数帯域に連続的に対応します。広い周波数レンジにより、高次の高調波周波数の測定が可能であり、前世代のVSTよりも低い周波数の基本信号に対応できます。

PXIe-5842 VSTの即時帯域幅は2 GHzです。変調信号の高調波測定では、必要となる測定帯域幅は基本信号帯域幅の倍数で増加します。

$$\text{第}n\text{高調波帯域幅} = n \times \text{基本帯域幅}$$

このアプリケーションノートの例で使用している検査対象デバイス (DUT) では、100 MHz帯域幅を基本信号とする場合の第2～第5高調波の測定を指定しています。この場合、第5高調波の測定にはアナライザから500 MHz以上の即時測定帯域幅が必要になります。新たな規格や通信技術の出現により、今後も高次高調波周波数において、より高い帯域幅での測定ニーズが高まると予想されます。

モジュールの厳密な同期

PXIe-5842はNI PXIプラットフォームのコンポーネントです。このプラットフォームでは、複数の測定モジュールを1つのPXIシャーシに統合でき、それらのモジュール同士で相互の通信や同期がシームレスに行えます。信号発生器、信号アナライザ、およびその他の計測器同士の間で周波数基準とトリガバスが共有されるため、これらのデバイスの同期が容易になります。この同期は、特にバースト波形を伴う変調信号の高調波を測定する場合に便利です。信号発生器でアナライザに向けてバースト開始をトリガすると、高調波信号が存在する場合に高調波信号のみがアナライザで測定されます。

スモールフォームファクタと費用対効果

高調波測定にVSTを使用することで、専用のVSAやHMUが不要になり、ベンチの省スペース化と無駄な費用の削減につながります。

[PXIe-5842およびその他のNI PXI VSTの詳細](#)

VSTと従来型VSAとの性能比較

高調波測定用の計測器の選択では、平均ノイズ密度や、アナライザが生成する高調波、スプリアスといった性能測定基準が重要になります。このセクションでは、PXIe-5842 VSTと、NIの従来型高性能VSA PXIe-5668 (オプションのプリアンプPXIe-5698を搭載) とで性能を比較します。

平均ノイズ密度

高調波信号は一般に電力が非常に低く、正確な測定には高感度の信号アナライザが必要です。平均ノイズ密度は、アナライザのノイズ量をdBm/Hz単位で示します。図1は、PXIe-5842 VSTとPXIe-5668 VSAの平均ノイズ密度を比較したものです。PXIe-5668 VSAは、オプションのPXIe-5698プリアンプと組み合わせることで感度をさらに向上させています。

PXIe-5842とPXIe-5668 (PXIe-5698プリアンプ搭載) の平均ノイズ密度

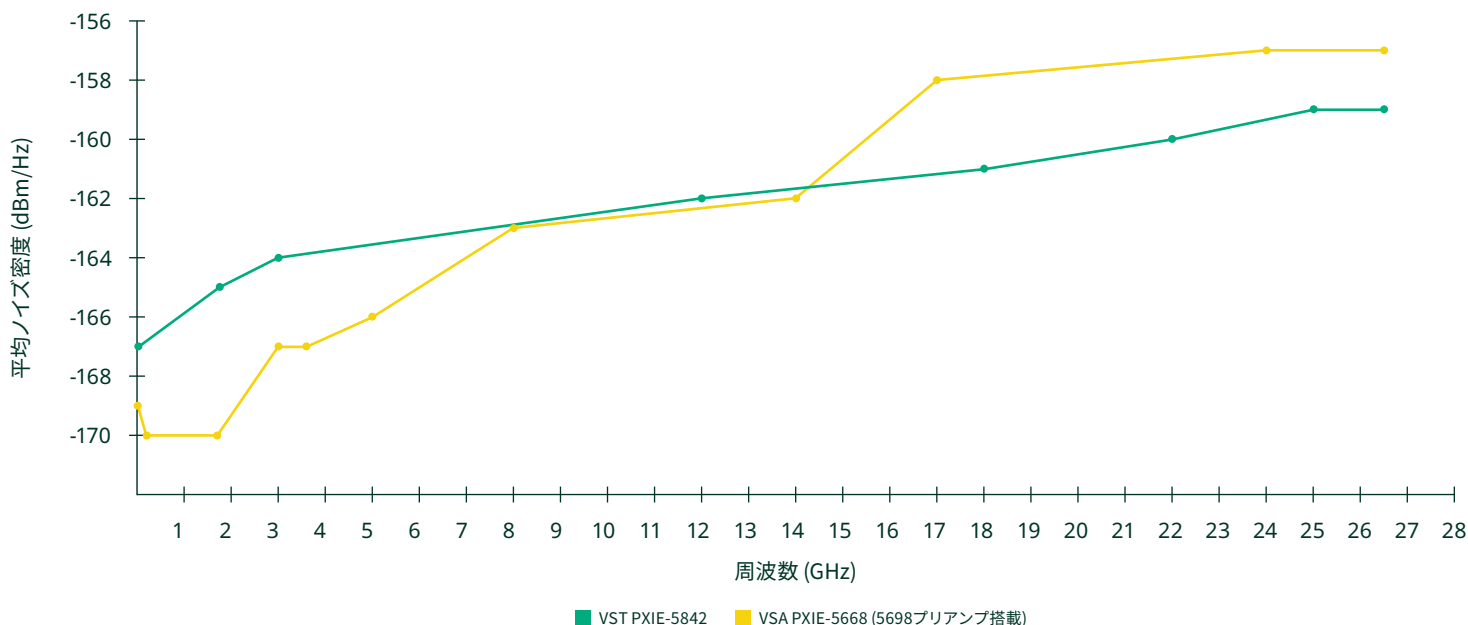


図1

PXIe-5842 VSTとPXIe-5668 VSAの平均ノイズ密度の比較

信号アナライザの仕様は多くの場合、平均ノイズレベル (DANL) として提供されます。平均ノイズ密度をDANLに変換するには、2.51 dBを減算します。DANLの方が低くなるのは、提供される測定サンプルの対数ではなく、測定サンプルの対数の平均を使用して計算されるためです。

結果として、PXIe-5842 VSTとPXIe-5668 VSAの平均ノイズ密度は同等であることがわかりました。8 GHz未満の周波数ではVSAの平均ノイズ密度が優れていますが、14 GHzを超える周波数ではVSTの平均ノイズ密度の方が優れています。

アナライザ入カスプリアスエミッションおよび高調波

信号アナライザにはアンプやその他の非線形コンポーネントが組み込まれているため、固有の高調波歪みやその他のスプリアス信号が生じます。これらの歪みの特性評価を行い、特定のDUTに対して高調波歪みの測定に影響を与えるかどうかを判断する必要があります。

PXIe-5842 VSTとPXIe-5668 VSAでは、データシートで規定されている歪みの仕様やテスト条件が異なります。このため、高調波測定の性能を直接比較することは困難です。そこで、直接比較ができるように、VSTとVSAの双方に同じ入力テスト信号を加え、アナライザの歪みを同時に測定しました。

典型的な高調波測定では、基本信号がフィルタやダイプレクサによって除去されるため、アナライザの基準レベルを低電力の高調波信号に近づけてダイナミックレンジを向上させることができます。一般的なダイプレクサの除去量は50 dBです。そこで、-50 dBmの連続波 (CW) 信号を使用してアナライザ入力での基本リークをシミュレーションしました。

発生器からの非線形の影響を避けるため、ダイプレクサを使用して、発生器で生じる高調波を除去しました。図2に示すテストセットアップでは、VST発生器を信号発生器として使用し、VSTアナライザとVSAの間で発生器を入れ替えています。

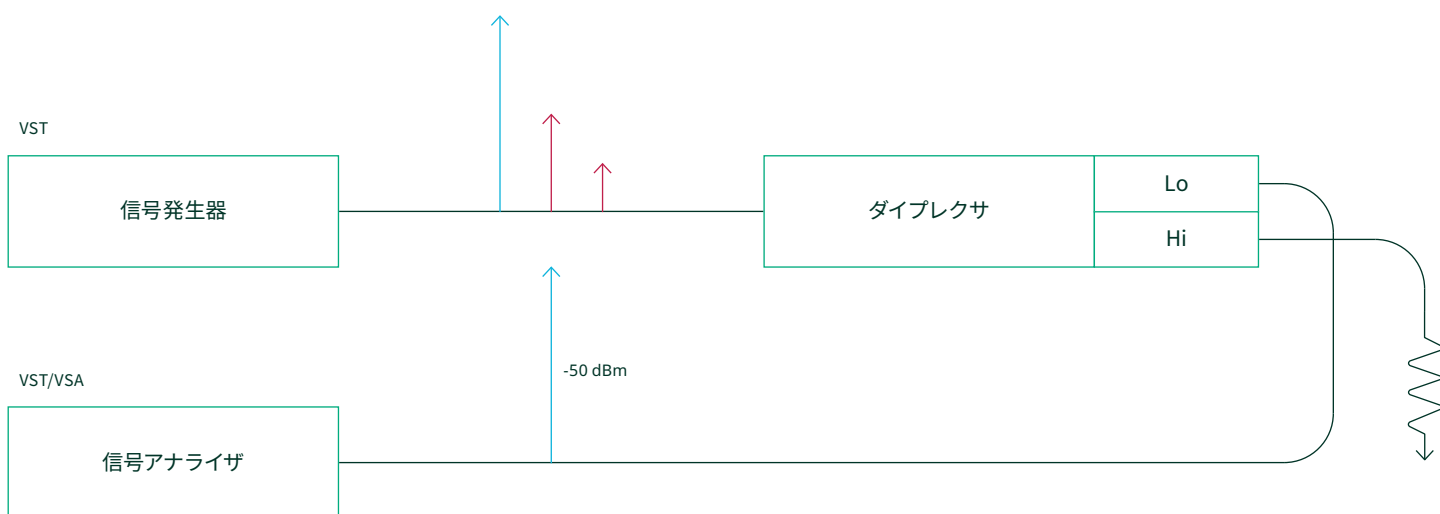


図2
アナライザ入カスプリアスエミッションおよび高調波をテストするためのテストセットアップ

測定は、800 MHz～5.8 GHzのCW周波数で行いました。図3は、3.5 GHzのCW周波数の結果を比較したものです。ダイプレクサの交差周波数は6.5 GHzであるため、6.5 GHz未満のスプリアス信号は発生器から生じているとみなせません。全体として、VSTとVSAのスプリアスエミッションは類似していますが、VSAでは10 GHz付近に一貫したスプリアスが1つ存在します。第2高調波は7 GHzで見られ、VSAの第2高調波はVSTの高調波より約10 dB低くなっています。第3高調波以降は、VSTとVSAのどちらもノイズフロアを下回っています。この比較結果は、テストした他のCW周波数についても一致しました。

アナライザ入カスプリアスエミッションおよび高調波

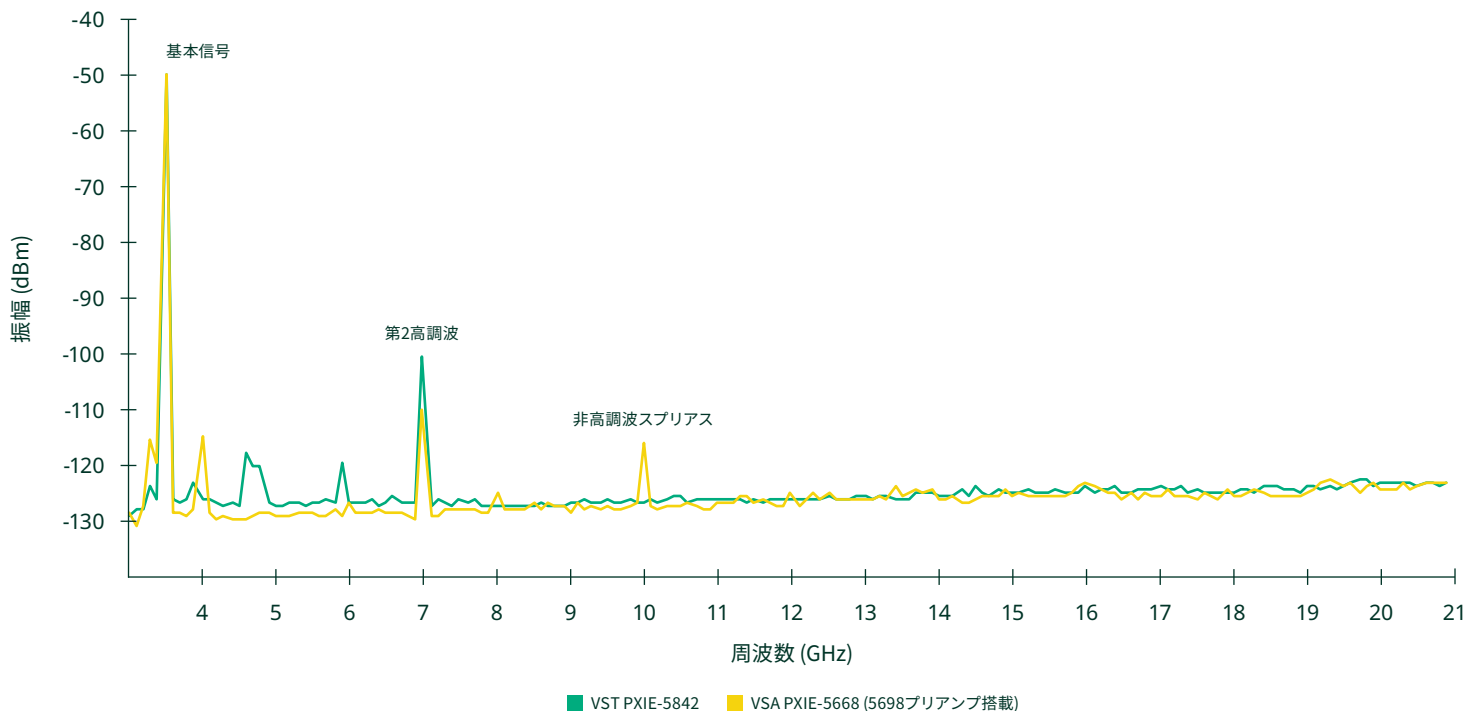


図3

CWが3.5 GHzの場合のアナライザ入カスプリアスエミッションおよび高調波の結果の比較。テスト条件: 分解能帯域幅 (RBW) = 1 kHz、スパン = 1 MHz、基準レベル = -50 dBm

アナライザの基準レベル設定は第2高調波の振幅に影響を与えます。ノイズフロアの増加を犠牲にしてアナライザの基準レベルを上げることで、第2高調波の振幅を減少させることができます。図4は、基準レベルを-50 dBmから-30 dBmに増やした場合のPXIe-5842における第2高調波の振幅とノイズフロアの差を示しています。第2高調波の振幅は8 dB減少していますが、ノイズフロアはそれほど増加していません。アナライザ入力の高調波歪みのレベルをDUT歪みの予測レベルと比較して、アナライザがDUTの測定に影響を与えるかどうかを判断する必要があります。

基準レベルが高調波とノイズフロアに与える影響

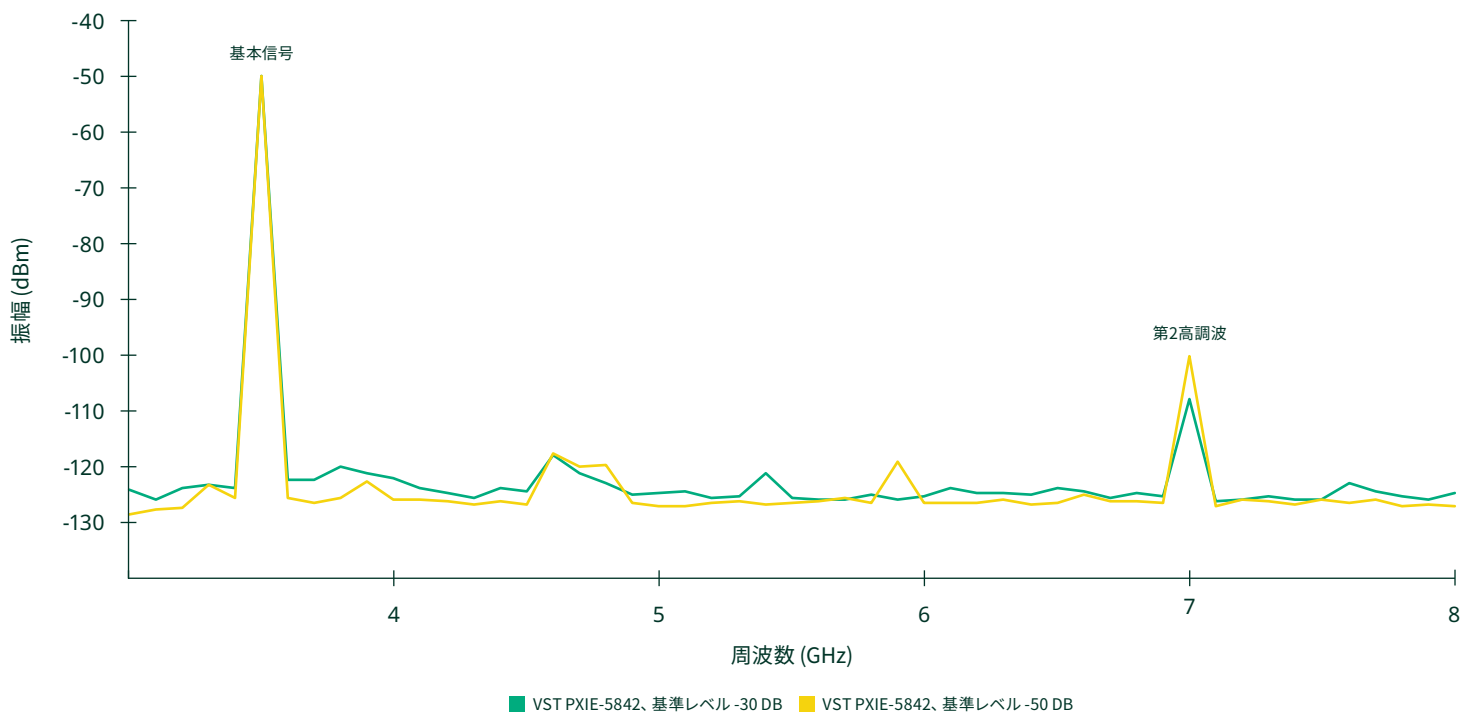


図4

基準レベル設定を-50 dBmおよび-30 dBmとした場合のVSTの第2高調波およびノイズフロアのレベル

VSTを使用したDUT高調波測定

このセクションでは、PXIE-5842 VSTを使用したアンプDUTでの高調波測定について説明します。この測定で使用するDUTは、3.7 GHz付近で動作する5G New Radio (NR) パワーアンプ (PA) です。DUTのデータシートには、帯域幅を100 MHz、DUT出力電力を+27 dBmとする5G変調テスト波形を使用した高調波性能が規定されています。DUTの高調波性能は第5高調波まで規定されています。

テスト装置のセットアップ

VSTには非線形デバイスが組み込まれているため、固有の高調波が生じます。DUT高調波のみを測定することが理想ですが、最適な結果を得るため、外部フィルタを使用してVSTで生じた高調波を除去します。この例では、ダイプレクサをローパスフィルタまたはハイパスフィルタとして使用します。従来型フィルタのロールオフはダイプレクサよりも急峻ですが、ダイプレクサは一般にパスバンド外での除去量が高く、その点が高調波測定にとってメリットになります。最も重要なのは、ダイプレクサは信号発生器に対して広帯域の整合負荷となるため、ストップバンドでの反射減衰量に乏しい一般的なフィルタとは異なり、発生器への反射が低減されることです。

図5は、高調波測定のテストセットアップです。信号発生器の後にダイプレクサを置き、発生器の高調波をフィルタ処理して基本信号を渡します。DUTの後にも別のダイプレクサを置いて、基本信号をフィルタ処理し、高調波のみをアナライザに渡します。こうした構成により、非常に低い基準レベルで信号アナライザを動作させ、低電力の高調波信号を測定することができます。また、アナライザで生じる歪みの量も減少します。ダイプレクサの交差周波数は、DUTの基本周波数と第2高調波の間に収める必要があります。DUTは3.7 GHzで動作するため、第2高調波は7.4 GHzで発生します。そのため、この測定では交差周波数が6.5 GHzのダイプレクサを使用しました。

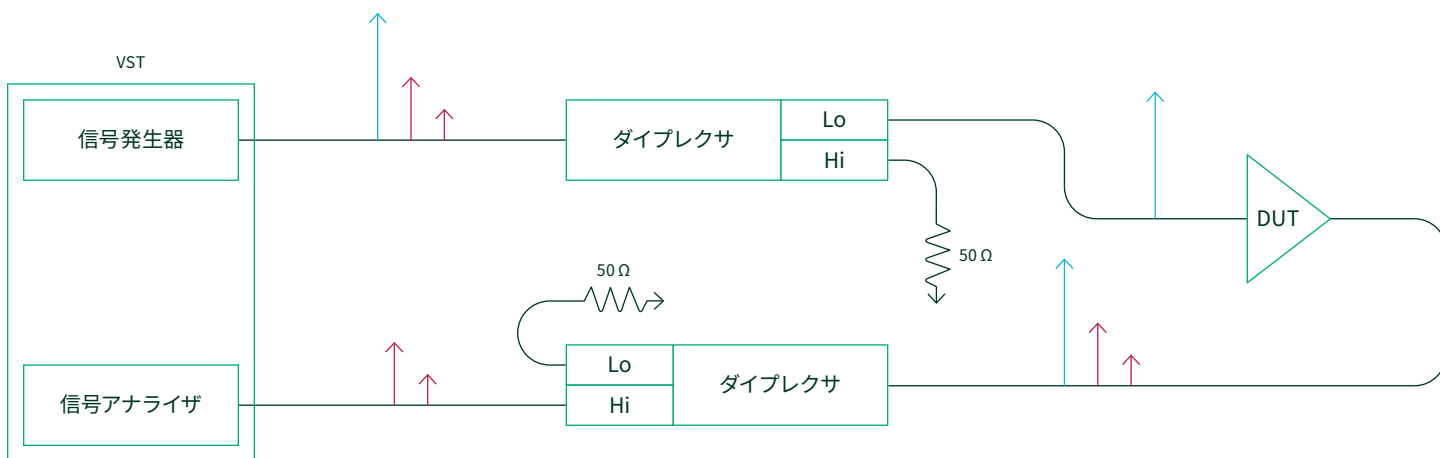


図5
DUT高調波測定のテストセットアップ

測定のセットアップ

以下の手順に従って高調波測定を行いました。手間のかかる作業のように見えますが、NIの相互運用可能なソフトウェアアプリケーションセットであるRFmxと、PXIe-5842 VSTや他の多くの計測器と連携するNIのフロントパネルソフトウェア InstrumentStudio™を使用することで、簡単に実現できます。

1. テストケーブル、コネクタ、ダイプレクサを、ベクトルネットワークアナライザでスイープしてディエンベディングします。適切なディエンベディングファイル (通常は.S2P) を測定に適用します。
2. 各高調波周波数について時間領域のゼロスパン送信電力 (TxP) 測定を行うようにアナライザを構成します。時間領域の測定は信号を周波数領域に変換する必要がないため、チャンネル電力 (ChP) 測定よりも大幅に高速です。信号は変調されているため、以下の式を使用します。

$$\begin{aligned} \text{第}n\text{高調波周波数} &= n \times \text{基本周波数} \\ \text{第}n\text{高調波RBW} &= n \times \text{基本波RBW} \\ \text{第}n\text{高調波測定間隔} &= \frac{\text{基本波測定間隔}}{n} \end{aligned}$$

- a. 基本中心周波数は3.75 GHzで、測定には各高調波を第5まで含みます (3.75 GHz x 5 = 18.75 GHz)。
- b. 基本信号の帯域幅は100 MHzであるため、以降の各高調波の帯域幅は100 MHz増加し、最大500 MHz (100 MHz x 5) となります。

- c. テスト波形では6 ms間隔でバーストを繰り返しています。VSTにより信号発生器からアナライザにトリガを送信し、各バーストの開始時に測定します。バーストが待機時間 (信号がオフの時間) なしで測定されるように、測定間隔を6 msに設定します。
3. アナライザのADCを過負荷にせずに、アナライザの基準レベルを基本信号のピーク電力付近まで下げます。これで、ADCのダイナミックレンジを最大限に活用できます。信号アナライザが歪みに寄与しているかどうかを確認するため、RF入力アッテネータの設定を変化させます。RFの減衰を変化させても測定される歪み振幅に変化がなければ、歪みは完全にDUTに起因したものとなります。しかし、歪み振幅が変化する場合は、信号アナライザも歪みに寄与していることになります。そのような場合は、歪みへの影響がなくなるまでアナライザの基準レベルを上げてみます。

高調波測定に使用した設定を表1に示します。

高調波数	5				
測定方法	時間領域				
RBWフィルタタイプ	平坦フィルタ				
基準レベル (dBm)	-10				
	基本波	第2高調波	第3高調波	第4高調波	第5高調波
周波数 (GHz)	3.75	7.5	11.25	15	18.75
RBW (MHz)	100	200	300	400	500
測定間隔 (ms)	6	3	2	1.5	1.2

表1. 高調波測定の測定設定

RFmxの詳細

InstrumentStudioの詳細

測定結果

高調波測定の結果は図6のようになりました。全高調波歪みと平均相対電力の値は基本信号から派生しています。ただし、基本信号はダイプレクサでフィルタ処理されているため、これらの値は無視する必要があります。

ここで重要な値は、高調波周波数、各高調波のRBW、測定間隔 (トレース表示)、および各高調波の平均絶対電力です。

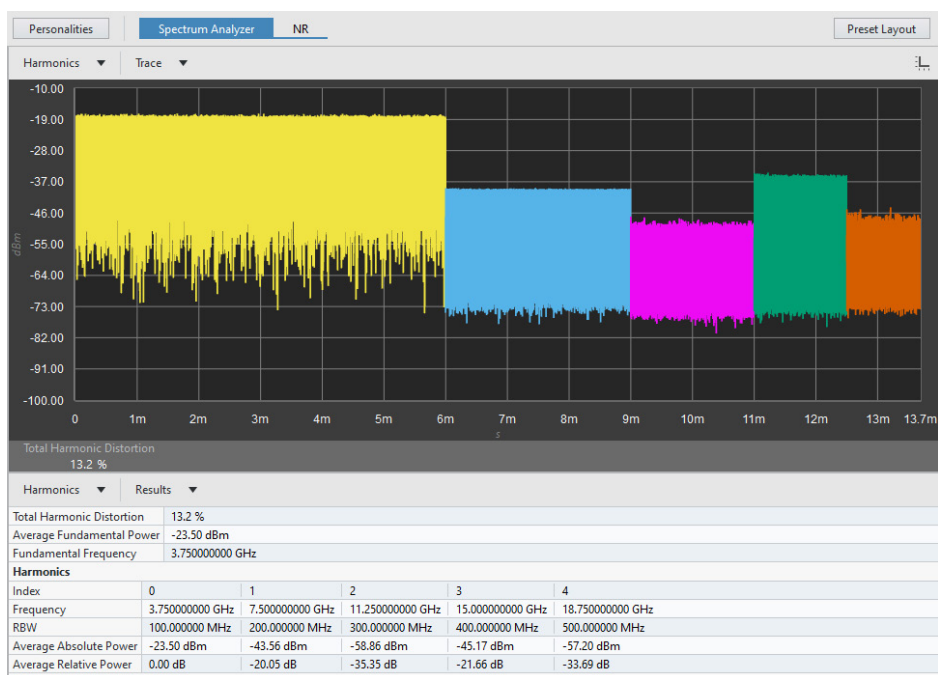


図6
高調波測定の結果

DUTでは、第2高調波から第5高調波のリミットを絶対電力 (dBm) で規定しています。表2は、測定値に対して規定されているリミットです。これらのリミットはすべて余裕を持たせたものとなっています。

高調波	DUTの規定値 (標準値)	測定値	
第2高調波	-40	-43.56	dBm
第3高調波	-50	-58.86	
第4高調波	-35	-45.17	
第5高調波	-50	-57.2	

表2. 高調波測定の規定値と測定値の比較

まとめ

従来の制限を克服した最新世代のVSTは、高調波測定において従来型の高性能VSAおよびHMUに匹敵する性能を備えています。高調波測定にVSTを使用することで、他の専用の計測器が必要となる費用とベンチスペースを削減することができます。

Emerson、Emerson Automation Solutions、およびそれらの関連事業体はいずれも、いかなる製品の選択、使用、または保守についても責任を負いません。製品の適切な選択、使用、およびメンテナンスに関する責任は、購入者およびエンドユーザーのみに帰属します。

National Instrumentsの企業ロゴ、NI、National Instruments、およびni.comは、Emerson Electric Co.のテストおよび計測事業部の1社が所有する商標です。EmersonおよびEmersonのロゴは、Emerson Electric Co.の商標およびサービスマークです。

本書の内容は情報提供のみを目的としたものであり、その正確性については万全を期しておりますが、本書に記載されている製品またはサービス、あるいはそれらの使用または適用可能性について、明示または黙示を問わず、いかなる保証も行いません。すべての販売には当社の契約条件が適用され、これは要求に応じて提供されます。当社は、当該製品の設計または仕様をいつでも予告なく変更または改善する権利を有します。

NI
11500 N Mopac Expwy
Austin, TX 78759-3504 USA

