

信号発生器の最適化のための 9つのベスト事例 - パート 2

よりよい測定のために

民生用無線でも、軍事通信でも、レーダーでも、スペクトラムには多くの干渉が存在し、帯域幅の不足はますます深刻になっています。信号のシミュレーションによるデバイスのテストが重要になっています。信号発生器は、さまざまなコンポーネントやシステムのテストアプリケーションのための精密で安定したテスト信号を供給します。

信号発生器の能力と性能を知ることは、正確で一貫した測定のための第一歩です。このアプリケーションノートは2つのパートから構成され、信号発生器を最適化するためのベスト事例について解説しています。

パート1:

1. 振幅確度の向上
2. 広帯域幅信号性能の最適化

パート2:

3. スイッチング速度の最適化
4. 信号発生器の位相雑音プロファイルの最適化



3. スイッチング速度の最適化

無線機器に組み込まれる機能の増加に伴って、さまざまな条件に対応するために、ますます多くのテストとセットアップが必要になります。無線機器には、複数の無線規格、周波数バンド、アンテナが含まれています。これにより、検証試験や量産試験でのテストの課題が大幅に増えます。テストエンジニアは、テストスループットを改善し、コストを削減する手段を常に探しています。

製造では速度が非常に重要です。テスト時間が長いほど、多くのコストがかかります。このため、製造では信号発生器の速度が重要な意味を持ちます。では、信号発生器の速度とは何でしょうか。速度は、1つの周波数／振幅から別の周波数／振幅へ、あるいは1つの波形から別の波形へどれだけ速く切り替えられるかと定義されます。

信号発生器を新しい周波数に設定すると、周波数シンセサイザーが出力を必要な周波数に切り替えます。次に、新しい周波数でも出力パワーが同じになるように、出力増幅器がパワーレベルを調整します。周波数スイッチングには本質的に周波数シンセサイザーと出力増幅器の両方の変更が必要なので、一般的に周波数スイッチングは振幅スイッチングよりも時間がかかります。スイッチングの際には、コマンド処理に最も多くの時間がかかります。

デジタル波形の場合、I/Q波形データを計算して再生メモリにダウンロードする必要もあります。正確な再生を行うには、サンプリングレートとデジタル／アナログコンバーター(DAC)の値を計算してファイルに保存する必要があります。

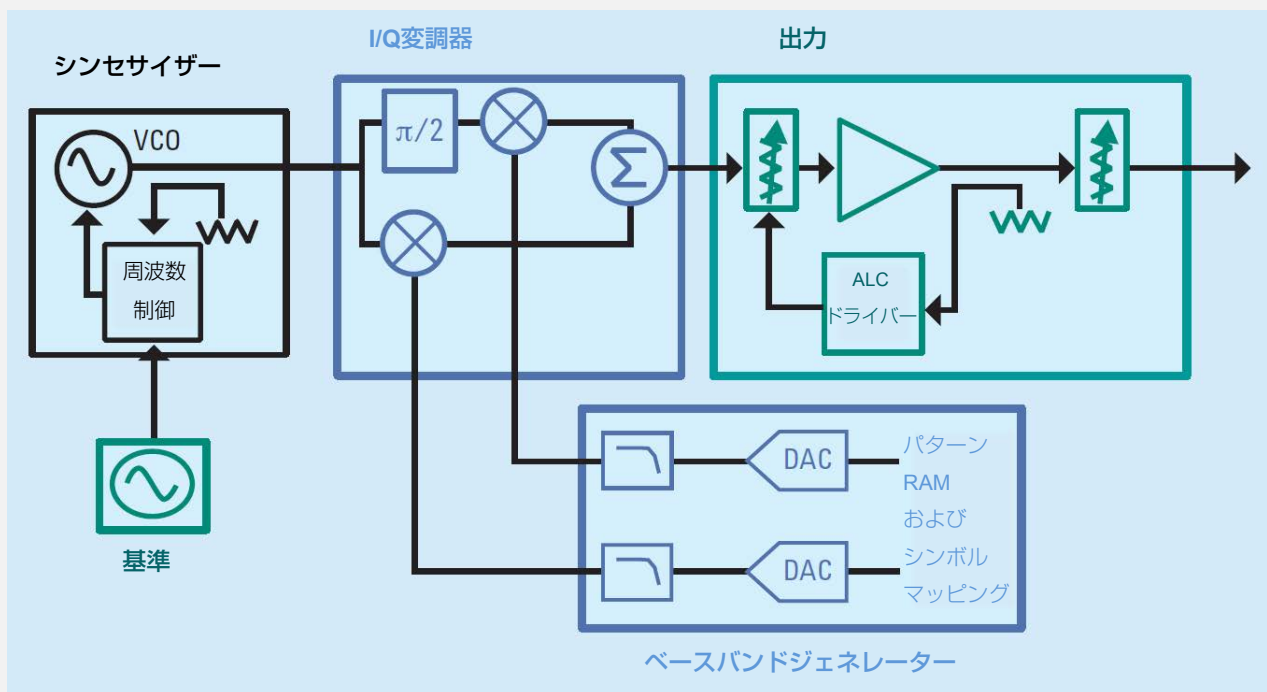


図3.1：代表的なベクトル信号発生器のブロック図

ベスト事例5：掃引モードの使用 - ステップとリスト

自動テストシステム内の信号発生器の出力を制御するには、いくつかの方法があります。わかりやすい方法としては、信号発生器にコマンドを送信して、周波数、振幅、波形を設定することができます。これは、周波数、振幅、波形の状態が最初にわかっていない場合に有用です。SCPIコマンドを使用する場合、コマンドの送信、解析、処理のために、スイッチングが始まるまでにオーバーヘッド時間があります。

周波数、振幅、波形の組み合わせがあらかじめわかっている場合、ステップまたはリスト掃引を使用すると、複数のパラメータを同時に切り替えることができ、大幅に高速になります。

ステップ掃引

ステップ掃引では、選択した1つの周波数/振幅設定から次の設定へのリニアまたは対数的な進行が可能です。すなわち、掃引ベースに沿ってリニアまたは対数的に配置されたポイント（ステップ）で掃引が一時停止します。

リスト掃引

リスト掃引では、不均一な間隔、ノンリニア上昇、下降、またはランダムな順序の周波数および振幅を入力できます。振幅と周波数に加えて、ベースバンド/I/Q波形も同時に切り替えることができます。各ポイントの周波数、振幅レベル、波形、持続時間を指定する必要があります。最高のスイッチング速度を得るには、リスト掃引を使用します。



持続時間：信号がセトリングし、掃引が次のポイントに移動する前に、測定を実行できる時間。

FREQUENCY		AMPLITUDE		List Table	
6.000 000 000 00 GHz		-144.00 dBm		Edit Item	
List Node Values					
Pg 1	11	Frequency	Power	Waveform	Dwell
1	1	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
2	2	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
3	3	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
4	4	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
5	5	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
6	6	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
7	7	6.000000000000 GHz	-144.00	-- CW (no modulation)	2.000 ms
8	8	6.000000000000 GHz	-144.00	-----	2.000 ms
9	9	6.000000000000 GHz	-144.00	-----	2.000 ms
10	10	6.000000000000 GHz	-144.00	-----	2.000 ms
02/23/2012 14:19 More 1 of 2					

周波数 振幅 ベースバンド/I/Q波形 持続時間

図3.2：MXG N5182Bのリスト掃引設定テーブル。

掃引を有効にする前に、掃引トリガまたはポイントトリガを設定する必要があります。トリガセットアップには、フリーラン、トリガキー（フロントパネルのボタン）、バス（リモートコマンドでのトリガ）、外部トリガ、または内部同期信号があります。

ベスト事例6：デジタル・ベースバンド・チューニング法

ほとんどの無線機器製造テストでは、テストプロセスの速度が多くの場合にデバイス自体によって制限されます。デバイスのテスト応答時間は、一般的にミリ秒単位です。従来のアナログ周波数／振幅チューニング速度は、デバイスレベルの量産試験をサポートするには十分です。速度の課題が最も深刻になるのは、無線機器業界のRFコンポーネントのレベルです。例えば、RFパワーアンプ、トランシーバー、フロントエンドモジュール(FEM)、システム・イン・パッケージ(SiP)、システム・オン・チップ(SOC)には、製造ラインでの高速なテストが必要です。

デジタル・ベースバンド・チューニング法を使用すると、VSGの有効変調帯域幅内の信号の周波数／振幅レベルの両方を、シンセサイザーの再チューニングなしで、デジタル的に変更できます。ベースバンドチューニングは、図3.3に示すように、独自のASICで実現されます。このASICには、次の3種類の信号処理機能が内蔵されています。

1. 振幅オフセットに対するリアルタイム乗算器。
2. 周波数オフセットに対するリアルタイム数値コントローラー発振器。
3. 振幅／位相応答をフラット化するリアルタイムチャンネル補正。

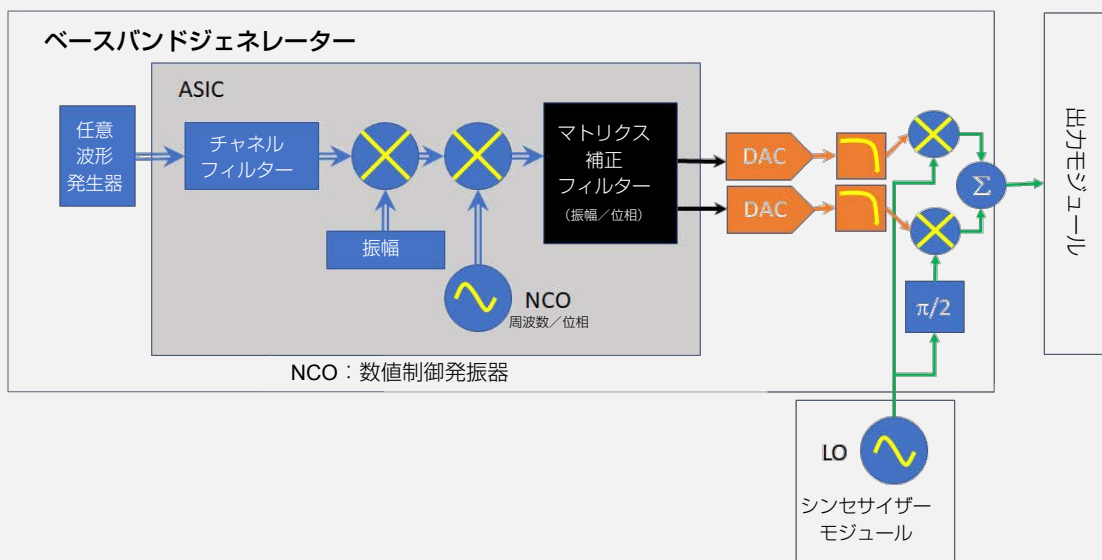


図3.3：デジタル・ベースバンド・チューニングの信号処理ブロック図

新しいVSGでは広い変調帯域幅が使用可能なので、デジタルベースバンドによる大きい周波数シフトが可能です。最大周波数シフトは、VSGの変調帯域幅に依存します。例えば、Keysight PXI VSG M9381AのRF帯域幅は160 MHzです。160 MHzの帯域幅の中で波形を任意にシフトできます。振幅シフトの範囲は約20 dBです。周波数シフトにかかる時間は最小10 μs程度です。この速度は、20 dB範囲内のあらゆるレベル変更に当てはまります。

信号帯域幅がVSGの最大帯域幅より小さくても、チューニング範囲が160 MHzに達する場合、リアルタイムのチャンネル補正が必要です。リアルタイムのチャンネル補正は、図3.4に示すように、チューニングバンド全体で振幅/位相応答をフラット化する役割を果たします。

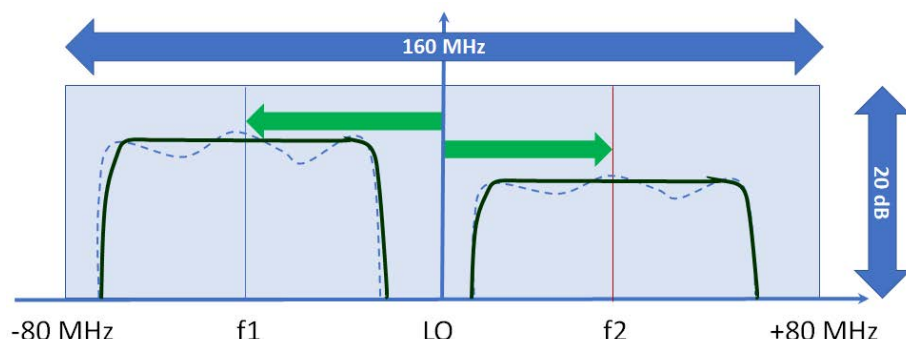


図3.4：160 MHz帯域幅および20 dBの振幅範囲全体でのベースバンドチューニング

デジタル・ベースバンド・チューニングにより、従来のRFチューニング技法よりはるかに高速な新しいVSGアーキテクチャが実現されます。表3.1に、RFチューニングとベースバンドチューニングの測定速度の比較を示します。

Keysight PXI VSG	RF チューニング	ベースバンドチューニング
概要	IVI ドライバーの「RF」 インタフェースを使用した RF 搬送波周波数および出力減衰の変更	IVI ドライバーの「変調」 インタフェースを使用した信号処理 ASIC 内での周波数オフセットおよび振幅オフセットの変更 <ul style="list-style-type: none"> 周波数レンジ：VSGの変調帯域幅 振幅レンジ：0～20 dB
プログラムされたコマンドのチューニング速度	<ul style="list-style-type: none"> CW：500 μs～1.4 ms 変調：3.4 ms～3.5 ms 	RF チューニングに比べて 2～14 倍の速度向上 <ul style="list-style-type: none"> 周波数および振幅：250 μs 振幅のみ：250 μs
リストモードのチューニング速度	周波数および振幅（ALC オフ/オン）：220 μ s	RF チューニングに比べて 12～22 倍の速度向上 <ul style="list-style-type: none"> 周波数および振幅（ALCオフ）：10 μs

表3.1：RFチューニングとベースバンドチューニングの測定速度の比較

量産試験エンジニアは、リニアリティーを考慮する必要があります。図3.5に、出力パワーのリニアリティーを示します。ベースバンドチューニング（緑の線）では、すべての調整がデジタル的に行われるため、リニアリティーの低下がわめて少なくなっています。RFチューニングは平均では誤差が少なくなっていますが、ALC回路に起因するざざざが発生しています。

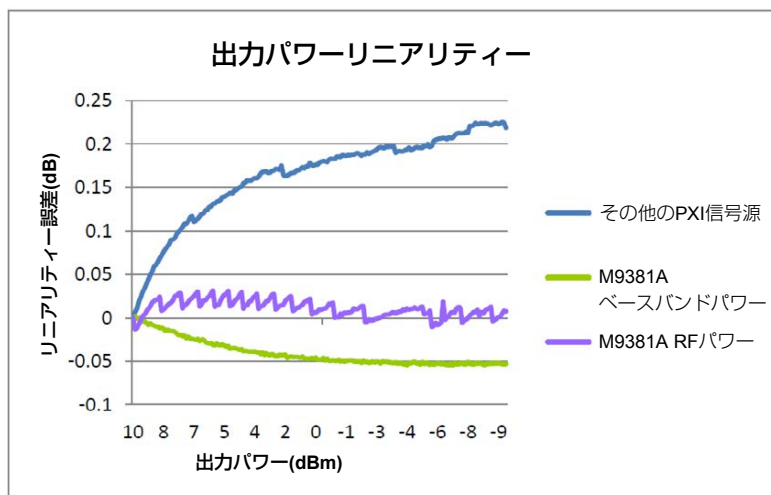


図3.5：ベースバンドチューニング使用時の ± 0.05 dBの範囲内の出力パワーリニアリティー誤差

4. 信号発生器の位相雑音の最適化

信号発生器の位相雑音性能は、正確な測定のための重要な要因の1つです。レーダーテスト、ADCテスト、OFDM通信システムなど、多くのアプリケーションでは、この性能が制限因子になることがあります。このようなアプリケーションには、広範囲の周波数オフセットで位相雑音がきわめて小さい信号発生器が必要です。まず何に注意すればよいかを知っておく必要があります。位相雑音を少し改善しただけでも、測定結果に大きな違いが出ることがあります。

信号発生器には、アプリケーションに応じて位相雑音を最適化するためのいくつかの方法が用意されています。まず、信号発生器の位相雑音プロファイルと、それが測定に影響する理由について説明します。次に、アプリケーションに応じて信号発生器の位相雑音プロファイルを最適化する方法を紹介します。

信号発生器のアーキテクチャーと位相雑音

ほとんどの信号発生器のアーキテクチャーには、基準発振器、シンセサイザー、電圧制御またはイットリウム鉄ガーネット(YIG)発振器、出力増幅器が含まれています。図4.1に示すように、それぞれのコンポーネントが異なる影響を位相雑音特性に及ぼします。1 kHz未満のオフセットでは、位相発振器の性能がノイズに対して支配的です。この発振器の周波数は、搬送波周波数まで逡倍されます。オフセットが1 kHzからおおむね100 kHzまでは、シンセサイザーの影響が最も大きくなります。100 kHz~2 MHzではVCOまたはYIG発振器、2 MHzより上では出力増幅器が支配的です。

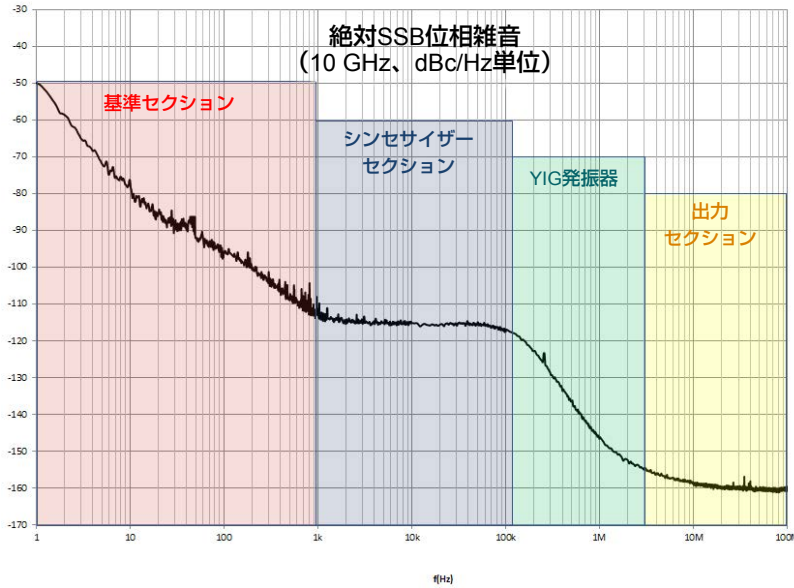


図4.1：位相雑音性能に影響する要素

位相雑音が重要な場合

位相雑音性能は、レーダーシステムやOFDM変調方式といった困難なアプリケーション向けの信号発生器を選択する際に、最も重要な要因となることがあります。

直交周波数分割多重化方式(OFDM)

OFDMは、広帯域デジタル通信用に普及している変調方式です。OFDMでは、狭い間隔で配置された多数の直交するサブキャリア信号を使用して、データが並列に伝送されます。位相雑音性能が低い局部発振器(LO)で周波数変換が行われた場合、位相雑音のあるサブキャリアが拡散され、他のサブキャリアに干渉します。位相雑音があると、OFDM信号の変調品質が低下します。表4.1は、OFDM変調方式を採用最近の無線規格のサブキャリア間隔を示します。

サブキャリア間隔	
IEEE 802.11ac	312.5 kHz
IEEE 802.11ax	78.125 kHz
LTE/LTE-A	7.5、15 kHz
5G New Radio(NR)	15、30、60、120、240、480 kHz

表4.1：OFDM信号のサブキャリア間隔

上の表に示すサブキャリアの間隔は、信号発生器のシンセサイザーセクションまたは発振器セクションの範囲内です。変調品質性能を上げるには、搬送波の位相雑音固有周波数オフセットをできるだけ小さくする必要があります。

ドップラーレーダー

レーダーシステムでは、安定局部発振器(STALO)およびコヒーレント発振器(COHO)の位相雑音性能が重要です。これらの信号はレーダーの中心部だからです。例えば、下の図4.2に示すように、ダウンコンバートされた必要信号が位相雑音に隠されてしまうと、レーダーレーシーバーは移動物体を検出できません。

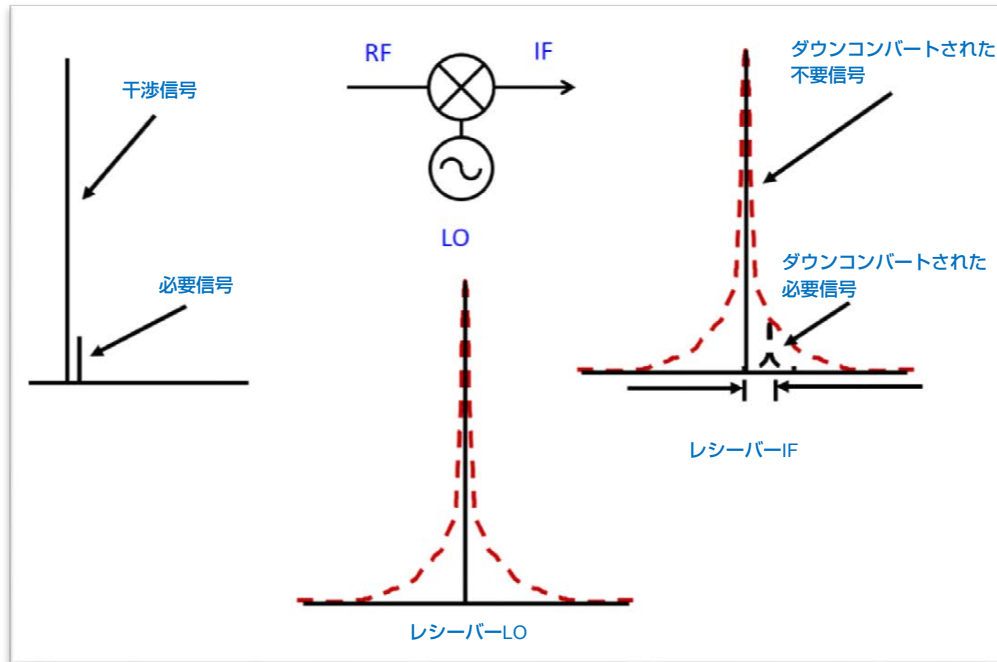


図4.2：LOの低い位相雑音性能によるレシーバー感度への影響

ドップラーシフトは、レーダー周波数×動径速度÷伝搬速度に比例します。周波数シフトは、数百Hzから数百kHzの範囲です。この範囲は、図4.1に示すように、信号発生器の基準セクションとシンセサイザーセクションにまたがっています。

ベスト事例7：基準発振器帯域幅の調整 - 搬送波近傍位相雑音

約1 kHz未満の周波数オフセットでは、位相雑音の安定性は内部または外部周波数基準によって決まります。1 kHz未満のオフセット周波数レンジで搬送波の位相雑音を改善するには、きわめて位相雑音の小さい安定した基準発振器を使用するのが最もわかりやすい方法です。Keysight PSG信号発生器は、近傍位相雑音を改善する方法を提供します。信号発生器の基準発振器帯域幅（ループ帯域幅とも呼ばれる）は、内部または外部10 MHz周波数基準に対して固定ステップで調整できます。信号発生器の位相雑音性能をアプリケーションに応じて最適化できます。



PSGとオプション
UNR/UNX/UNYの組
み合わせは、内部ま
たは外部10 MHz周
波数基準に対して、
固定ステップで調整
できます。

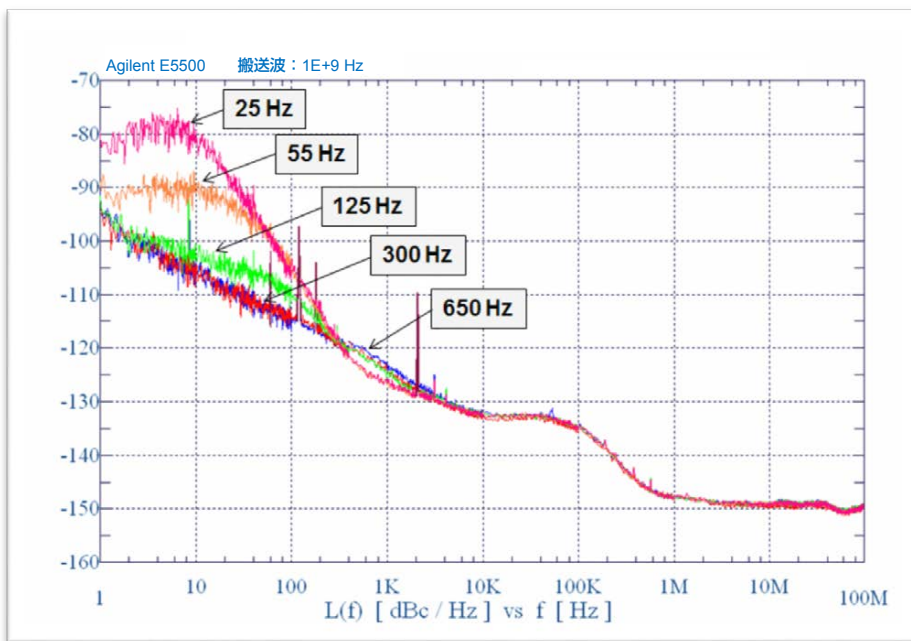


図4.3：基準発振器のPLL帯域幅調整

ベスト事例8：フェーズロックループ帯域幅-シンセサイザーセクション

Keysight PSG信号発生器のシンセサイザーセクションでは、図4.4に示すように、フェーズロックループ帯域幅を設定することにより、150 kHzより上または下の位相雑音を最適化できます。明るい青の曲線は150 kHz未満、黄色の曲線は150 kHzより上の周波数オフセットに対して最適化されています。アプリケーションを評価して、オフセット周波数が大きい場合は適切な位相雑音設定を選択します。



この機能は、オプションUNYを備えたすべてのPSGモデルでサポートされています。

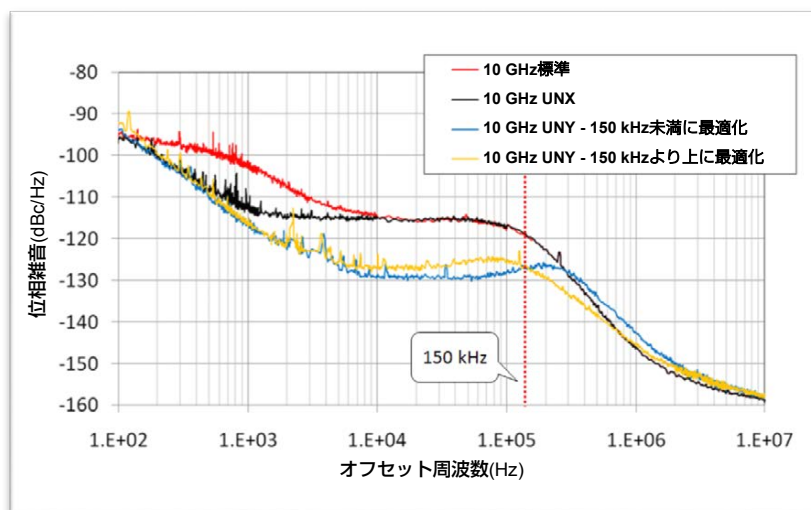


図4.4：シンセサイザーセクションの遠方位相雑音の最適化

ベスト事例9：リアルタイム位相雑音信号劣化

位相雑音性能の最適化は、常に必要あるいは望ましいとは限りません。アプリケーションやテストによっては、正確な信号代用や位相雑音耐力テストのために、特定の量の位相雑音が必要な場合があります。

キーサイトのRF信号発生器N5182B/N5172Bでは、シンセサイザーセクションの位相雑音信号劣化をユーザーが調整できます。この機能では、図4.5に示すように、2つの周波数ポイントと振幅値を制御することで、信号発生器の位相雑音性能を低下させることができます。このカスタマイズされた位相雑音は、リアルタイムベースバンドASICとプロセッサアクセラレータで動作する信号発生器の内部アルゴリズムによって作成されます。これにより、より現実的な信号のシミュレーションが可能になり、被試験デバイスの評価とトラブルシューティングに役立ちます。



この機能は、
Keysight Xシリーズ
ベクトル信号発生器
だけで使用可能
です。

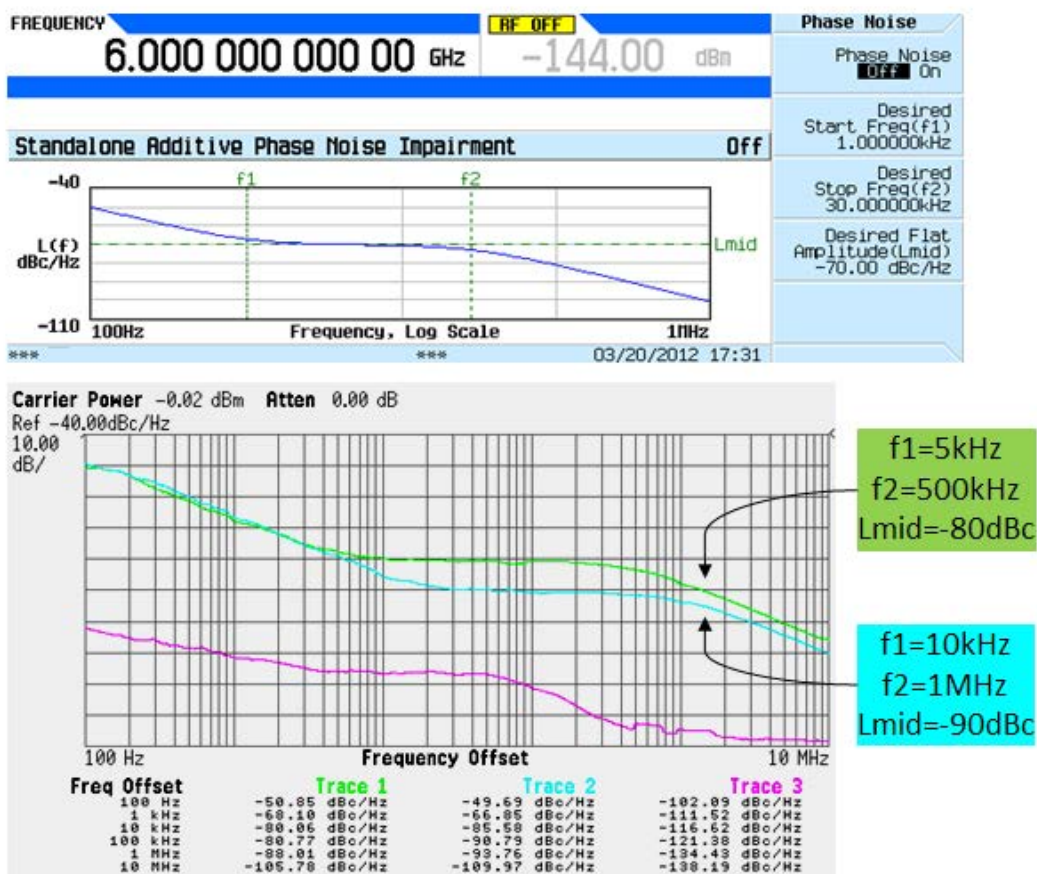


図4.5：位相雑音信号劣化の設定と測定

位相雑音は、信号発生器の重要な性能特性であり、正確な測定結果を得るために重要です。遠方および近傍のオフセットに対して、コストとスイッチング速度の最適化とトレードオフの関係にあります。信号発生器によっては、複数のレベルの位相雑音性能を備え、大きいオフセットまたは小さいオフセットに対する最適化が可能なものもあります。一方で、特定の量の位相雑音を注入して、デバイスの性能を評価するためのより現実的な信号をシミュレートすることもできます。

まとめ

信号発生器は、さまざまなコンポーネントやシステムのテストアプリケーションのための精密で安定したテスト信号を供給します。必要な性能要件はアプリケーションによって異なります。キーサイトの信号発生器は、性能と測定速度を最適化するための柔軟性と多様な機能を備えています。最適なソリューションを実現するには、経験、洞察、創造性と、DUTの効果的なテストに必要な信号の発生を可能にする信号発生器および測定ソフトウェアの組み合わせが必要です。

測定改善のためのその他のベスト事例については、**RFテストブログ**を参照してください。キーサイトの信号発生器の詳細については、**www.keysight.co.jp/find/sg**をご覧ください。

詳細情報：**www.keysight.co.jp**

キーサイト・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-12:00 / 13:00-18:00（土・日・祭日を除く）

TEL：0120-421-345 (042-656-7832) | Email：contact_japan@keysight.com

