

複数位相のコヒーレント信号の生成

- 位相および時間での整列

アプリケーションノート

製品：

- | R&S®SMW200A
- | R&S®SGT100A
- | R&S®SGS100A
- | R&S®SGU100A
- | R&S®SMBV100A

Rohde&Schwarz 信号発生器は、位相コヒーレント信号を生成するための、コンパクトで使いやすいソリューションを提供しています。異なるモデルの発生器を結合することにより、位相コヒーレントチャネルの数および RF 周波数レンジの観点から、ユーザーの要求に最適に適合させることができます。

このアプリケーションノートでは、位相コヒーレント信号を生成する方法、考慮すべき事項および個々のチャネル間の相対位相とタイミングを最適に校正する方法について詳しく説明いたします。また、この文書は、異なる RF 周波数に対する経時的な位相安定性の様々な計測値を表しています。

注意：

最新のドキュメントにつきましては、当社のホームページをご覧ください
<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1GP108>.

目次

1	注意	5
2	はじめに	5
3	背景	6
3.1	位相の一貫性とは何ですか？	6
3.2	2つのRF搬送波の相対位相を安定させる方法	6
3.2.1	レベル1-10 MHz REF カップリング	7
3.2.2	レベル2-1 GHz REF カップリング	8
3.2.3	レベル3-LO カップリング	8
3.3	RF位相制御	9
3.3.1	1 GHz REF カップリング	9
3.3.2	LO カップリング	10
4	正しい機器	12
4.1	位相コヒーレンスオプション B90/K90	12
4.2	他に重要なことは何ですか？	13
5	セットアップ例	15
5.1	最大6 GHz の8チャネルシステム	15
5.2	最大20GHz の4チャネルシステム	16
6	何を考慮する必要がありますか？	18
6.1	温度	18
6.2	ケーブル接続	19
6.3	LO配分	20
6.4	振動/衝撃	21
6.5	RF周波数	21
6.6	RFレベル	21
7	設定方法	24
7.1	LO結合の設定方法	24

7.2	ベースバンドの位相のセットの方法	25
7.3	遅延を補う方法	26
7.4	RF レベルを変更する方法	27
7.4.1	アッテネーターの位置をロックする方法	28
7.4.2	デジタル減衰をセットする方法	28
8	校正 - 位相および時間のアライメント	30
8.1	位相アライメント	30
8.2	タイムアライメント	31
8.2.1	前提条件 : ベースバンド同期	32
8.2.2	タイムアライメントの原理	33
9	校正 - 方法	35
9.1	一般的な手順	35
9.2	校正信号の生成方法	35
9.2.1	ベースバンドを経由して CW 信号を生成する方法	35
9.2.2	FM チャープ信号の生成方法	36
9.3	校正に使用する RF レベルの決定方法	36
9.4	CW 信号の位相アライメント	37
9.4.1	ベクトルネットワークアナライザーを使用する	38
9.4.2	スペクトラムアナライザーを使用する	39
9.4.3	オシロスコープの使用	40
9.5	I/Q 変調信号の位相と時間の調整	41
9.5.1	VNA に関する基本情報	42
9.5.1.1	VNA のブロック図	42
9.5.1.2	2 つの信号間の相対位相の計測	43
9.5.2	VNA の校正	44
9.5.3	2 つのチャープ信号間の位相の計測	46
9.5.4	位相およびタイムアライメントのステップバイステップガイド	49
9.5.4.1	ステップ 1 - 一般的な VNA セッティング	49
9.5.4.2	ステップ 2 - VNA の校正	50
9.5.4.3	ステップ 3 - チャープ信号間の位相の計測	52
10	校正 - 繰り返すタイミング	54
10.1	どのタイミングで校正を繰り返しますか？	54
10.2	再現性	55

11	位相安定性の計測結果.....	56
11.1	予備試験.....	56
11.2	2 GHz での実行	57
11.3	10 GHz での実行	58
11.4	20 GHz での実行	59
11.5	40 GHz での実行	60
11.6	10 時間での実行	61
11.7	LO 対 1 GHz REF 結合.....	62
12	クイックガイド	64
13	位相コヒーレントシステムの位相安定性を改善する方法	65
14	特別なアプリケーション	67
14.1	非常に低い RF 周波数における位相コヒーレンス	67
14.2	異なる RF 周波数を使用するマルチチャンネルセットアップの位相コヒーレンス	68
15	付記	70
15.1	可能なマルチチャンネルセットアップのリスト	70
16	略語	71
17	参考文献	72
18	オーダー情報	72

1 注意

Rohde & Schwarz 製品のこのアプリケーションノートでは、以下の略語が使用されています：

- R&S®SMW200A ベクトル信号発生器を、**SMW** と呼びます。
- R&S®SMBV100A ベクトル信号発生器を、**SMBV** と呼びます。
- R&S®SGT100A SGMA ベクトル RF ソースを、**SGT** と呼びます。
- R&S®SGS100A SGMA RF ソースを、**SGS** と呼びます。
- R&S®SGU100A SGMA を、**SGU** と呼びます。
- R&S®SGMA-GUI PC ソフトウェアを、**SGMA-GUI** と呼びます。
- R&S®SGU-Z4 接続キット R&S®SGU100A から R&S®SGS100A を、**SGU-Z4** と呼びます。
- 機器オプション、たとえば R&S®SMW-B90 を、**B90** と呼びます。
- R&S®ZVA ネットワークアナライザを、**ZVA** と呼びます。

2 はじめに

フェーズドアレイまたはビーム形成アンテナのようなマルチアンテナシステムを試験するには、それらの間に一定の位相関係を有する複数の信号を提供することができる試験システムが必要です。コヒーレント試験信号は、特定のまたは定義可能な位相差(相対位相)および定義可能な振幅を有していかなければなりません。そのような試験システムの課題のいくつかには、コンパクトさ、位相制御能力、および取り扱いの簡素性が含まれています。特に、チャネル間の位相安定性が重要になります。A&D 方向探知およびモバイル通信ビームフォーミングセクタにおける多くのアプリケーションでは、チャネル間の位相関係が最小の偏差、例えば $<1^\circ$ の位相ドリフトであり、経時的に一定であることが必要にされています。このような高い位相安定性は、試験システム内のすべての信号発生器に共通のシンセサイザ信号(局部発振器、**LO**)を使用する場合にのみ達成することができます。

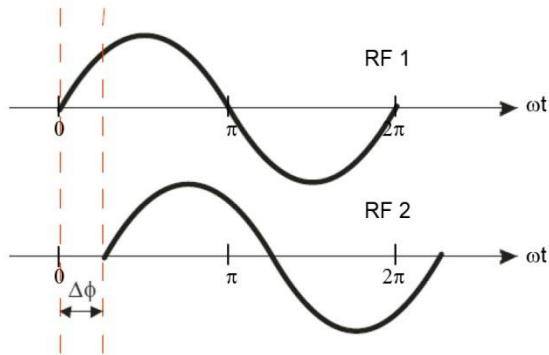
Rohde & Schwarz 信号発生器は、位相コヒーレント信号を生成するための、コンパクトで使いやすいソリューションを提供しています。発生器の位相コヒーレンスオプションは、ある機器のシンセサイザ信号を他の機器に分配することにより、複数の機器の **LO** 結合を可能にします。異なるモデルの発生器を結合することにより、位相コヒーレントチャネルの数および **RF** 周波数レンジの観点から、ユーザーの要求に最適に適合させることができます。したがって、Rohde & Schwarz ソリューションは、柔軟で拡張性があります。

このアプリケーションノートでは、位相コヒーレント信号を生成する方法について説明いたします。これは、試験および計測装置の技術要件に関する背景を説明し、推奨されるテストソリューションを紹介しています。これは、考慮すべき事項と試験設定の構成方法について詳しく説明しています。さらに、このアプリケーションノートでは、個々のチャネル間の相対的な位相およびタイミングを最適に校正する方法および校正を繰り返す時期について詳細に説明いたします。また、このドキュメントは、異なる **RF** 周波数に対する経時的な位相安定性の様々な計測値を表しています。これには、最も重要なステップおよびポイントを要約したクイックガイドおよび位相コヒーレント信号を生成するためのさまざまなセットアップをまとめた付録が付随しています。

3 背景

3.1 位相の一貫性とは何ですか？

2つの信号が、互いに固定位相関係を維持する場合が位相コヒーレントです。言い換えますと、2つの信号間の相対的な位相が $\Delta\phi$ 、経時に共に一定のままである場合のことです。

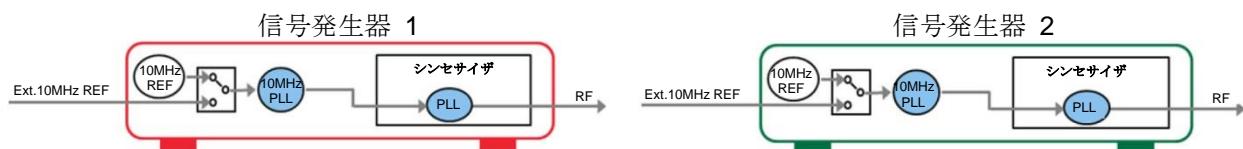


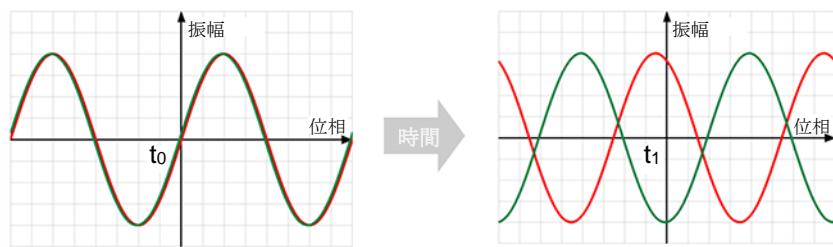
この一般的な定義に加えて、位相コヒーレンスは、周波数が等しい無変調連続波（CW）搬送波または互いの周波数の倍数である CW 搬送波に対してのみ規定される、より厳密な定義も存しています。繰り返しますが、これらの CW 搬送波は、それらの間に定義され、安定した位相関係が存在する場合には、位相 - コヒーレントとなります。

3.2 2つの RF 搬送波の相対位相を安定させる方法

以下では、2つの RF 信号発生器について考えます。どちらのシンセサイザにも、独自の内蔵基準発振器が備えられています。あるいは、外部ソースよりの外部基準周波数信号を使用することもできます。どちらの場合でも、結果として得られるシンセサイザ信号は、位相同期ループ（PLL）を使用して基準信号から数ステップで生成されます。

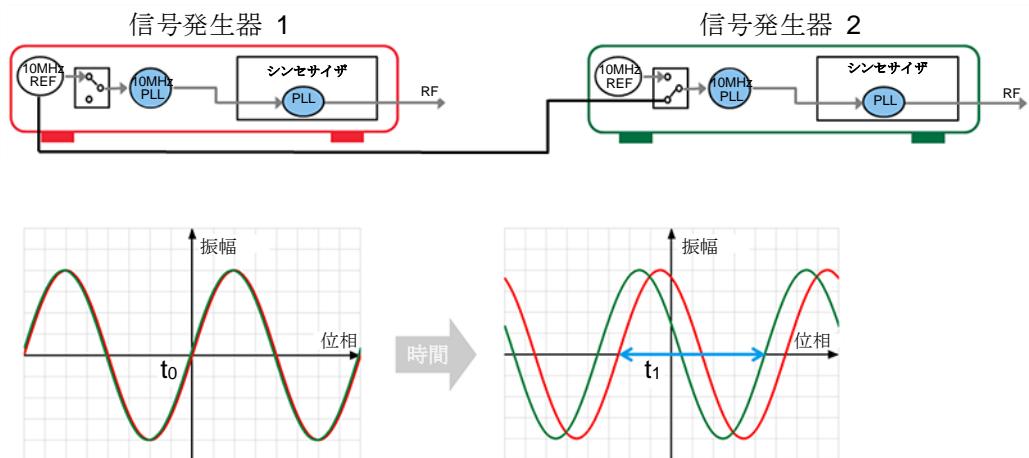
対策が取られない限り、RF 信号の相対的な位相は、経時に予期せずに変化してしまいます。RF 周波数も、わずかに異なる場合があります。例、1 GHz において数十ヘルツ





3.2.1 レベル 1-10 MHz REF カップリング

2つの信号発生器が共通の 10 MHz 基準信号を介して結合されている場合、それらは同一の RF 周波数を生成します。しかしながら、瞬間的な相対位相は不安定であり、長期安定性には乏しいです。



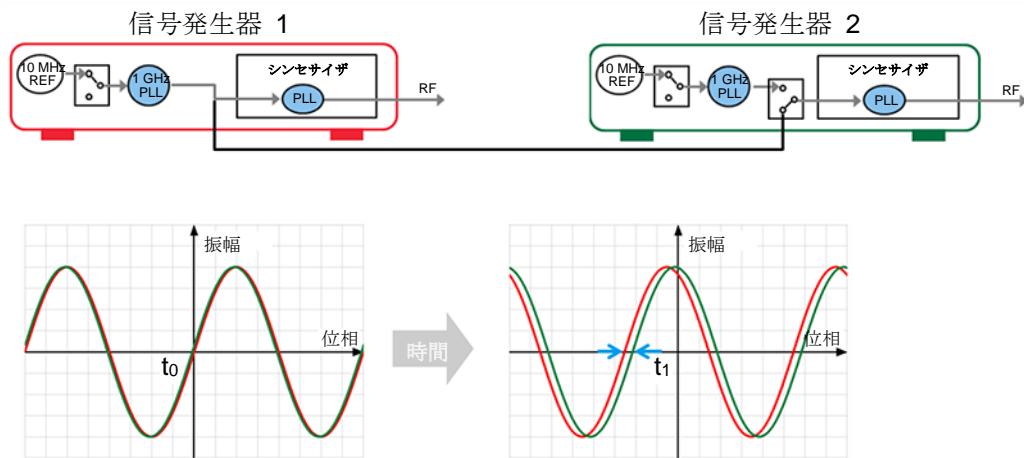
これは、以下の要因によるものです：

- 1) 2つのシンセサイザの位相ノイズは、時間的に無相関。
- 2) 10 MHz での「弱い」結合例えは、10 MHz の基準 PLL で位相が 0.1° ずれた場合（位相検波器のオフセットドリフトなどの影響により）、1 GHz における RF 位相は 10° ずれることになります。
- 3) DACs、I/Q 変調器、電力增幅器、電子式ステップアップアッテネーターなどの信号生成 チェーンの他のコンポーネントのドリフト。
- 4) いくつかのシンセサイザ部品の有効電気長の変化を引き起こす温度差。これは、2 つのシンセサイザ間の熱位相ドリフトにつながります。

結果として、10 MHz の基準結合は、良好な長期安定性を有する RF 信号の位相コヒーレンスを保証することができません。

3.2.2 レベル 2-1 GHz REF カップリング

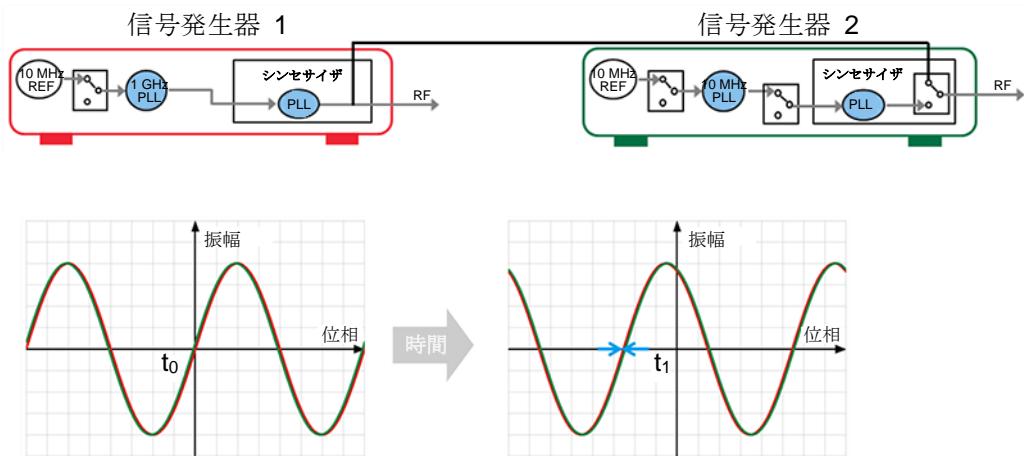
2 つの信号発生器が共通の 1 GHz 基準信号を介して結合されている場合、長期安定性が大幅に改善されます。ここで、1 GHz 基準 PLL で位相が 0.1° ドリフトすると、1 GHz での RF 位相はわずか 0.1° だけドリフトします。しかし、相対位相は、10 MHz 結合についてリストしたものと同じ要因であるために、完全には安定しません。



結果として、1 GHz の基準結合は、妥当な長期安定性を有する RF 信号の位相コヒーレンスを可能にします。

3.2.3 レベル 3-LO カップリング

要因 1) および 2) は非常に支配的であるため、2 つの信号発生器の位相安定性を最適化するためのただ 1 つの方法として、共通のシンセサイザの使用があります。これは、1 つのシンセサイザの局部発振器 (LO) 信号が、両方の信号発生器で使用されることを意味します。

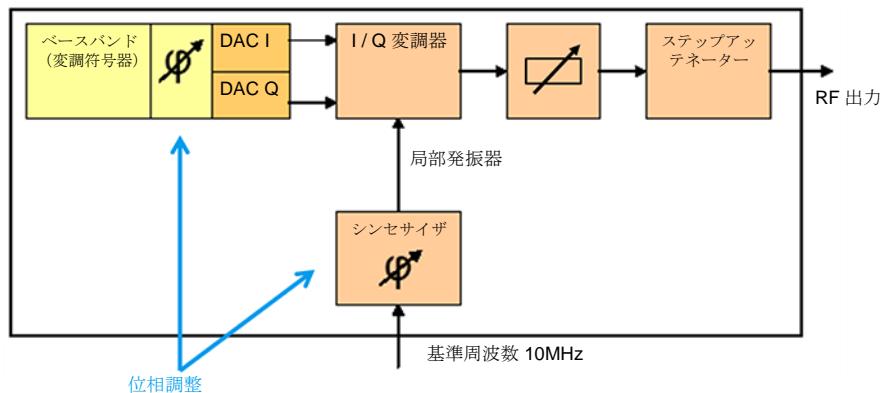


一般的なシンセサイザを使用することにより、1) 、2) および 4) の要因を除外することができます。要因 3) は残ります。

LO 結合は、非常に良好な長期安定性を有する RF 信号の位相コヒーレンスを可能にします。これは、2 つの RF 搬送波の相対位相を安定させる最善の方法です。

3.3 RF 位相制御

このセクションでは、RF 搬送波の位相の制御およびセットする方法について説明いたします。この質問に答えるため、ベクトル信号発生器 (VSG) の生成チェーンの簡単なブロック図から始めます。



あらゆる種類の変調信号は、デジタルベースバンド（黄色のブロック）にて生成されています。デジタルベースバンド信号に、位相オフセットをインポーズすることができます。DAC s は、アナログ I/Q 信号を I/Q 变调器に供給します。I/Q 变调器は、シンセサイザからの LO 信号を使用することにより、ベースバンド信号を RF にアップコンバートします。LO 信号の位相を調整することは可能です。その結果得られる RF 信号は、可変減衰（または 高出力の増幅）およびステップ減衰の 2 段階でレベル調整されます。

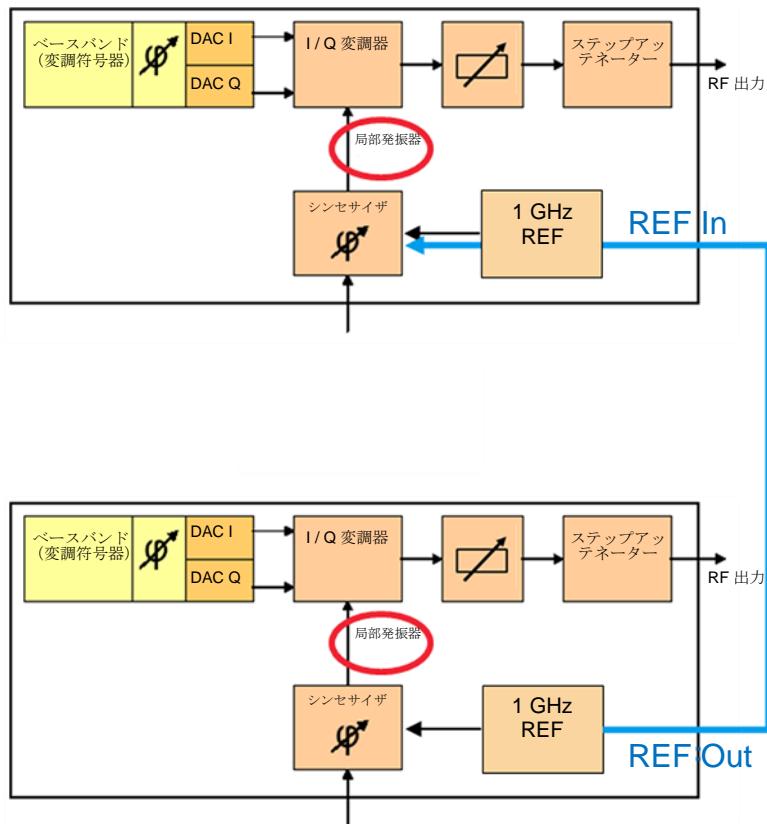
要約しますと、RF 信号の位相調整は以下によって可能です

- I/Q 信号に位相オフセットを適用することにより、デジタルベースバンドを介して
- LO 信号に位相オフセットを適用することにより、シンセサイザを介して

3.3.1 1 GHz REF カップリング

2 つの信号発生器が、共通の 1 GHz 基準信号を介して結合されている場合、RF 位相は、シンセサイザまたはデジタルベースバンド（VSG の場合）を介して設定することができます。

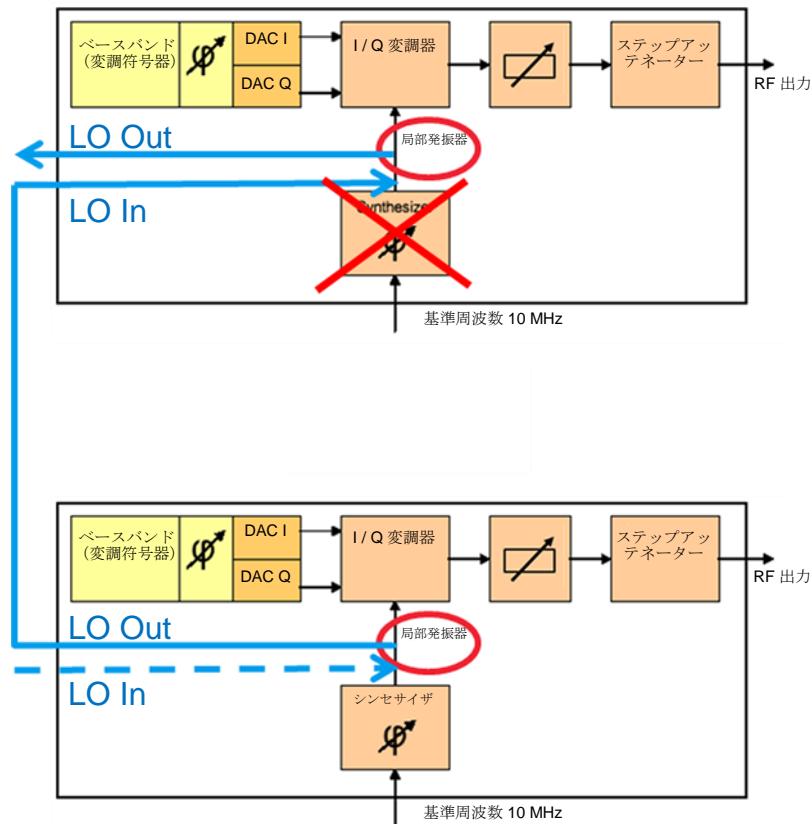
各信号発生器の RF 位相は、キャリア間で要求された相対位相を得るように調整することができます。



3.3.2 LO カップリング

2つの信号発生器が共通の LO 信号を介して結合されている場合、相対位相は、もうシンセサイザを介しても設定することはできません。

LO マスターとして作動する信号発生器の RF 位相は、シンセサイザを介して調整することができますが、この設定は LO スレーブとして作動する信号発生器にも適用されています。一般的なシンセサイザのために RF 位相を個別に設定することはできません。



搬送波間に要求された相対位相を得るために、VSG のデジタルベースバンドを介して位相調整を行わなければなりません。

その結果、各 RF 搬送波に対して個別に位相をセットできるように、ベースバンドを介して CW 信号を生成しなければなりません。これらの（疑似） CW 信号は、I と Q の DC 信号を使用して生成することができます（詳細については、第 9.2.1 項を参照してください）。

4 正しい機器

4.1 位相コヒーレンスオプション B90/K90

位相コヒーレンスアプリケーションでは、各 RF キャリアの位相を個別に変更しなければなりません。加えて、LO カップリングは、安定した相対位相を保証するための好ましい方法です。よって、LO 結合機能を備えた VSG が理想的です。

Rohde & Schwarz 信号発生器は、長期間の安定性が最も優れた位相コヒーレント RF 信号を生成するための、非常にコンパクトで使いやすいソリューションを提供します。1 つの機器のシンセサイザ信号を他の機器に分配することにより、発生器に、複数の機器の LO 結合を可能にする特殊な位相コヒーレンスオプションを装備することができます。このようにして、複数の I/Q 変調器を、同じ LO 信号で駆動させることができます。

異なるモデルの発生器を結合することにより、位相コヒーレント搬送波の数および RF 周波数レンジの観点から、ユーザーの要求に最適に適合させることができます。B90/K90 オプションは、以下の機器で使用することができます。

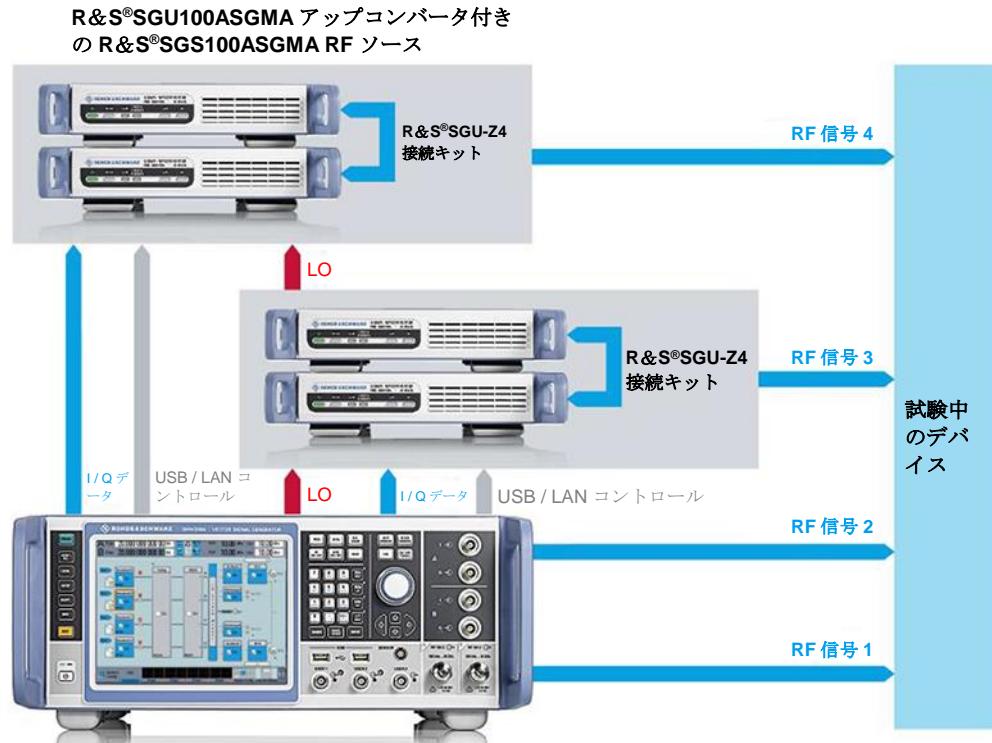
位相コヒーレンスオプションを備えた機器					
機器	タイプ	オプション	最大 RF 周波数	RF 出力	1 GHz REF
SMW	VSG	B90	40 GHz	1 または 2 + 外部 RFs	いいえ
SMBV	VSG	B90	6 GHz	1	いいえ
SGT	VSG	K90	6 GHz	1	はい
SGS	VSG (内部ベースバンドなし)	K90	12.75 GHz SGU 搭載で 40 GHz	1	はい

B90/K90 オプションは、アナログ信号発生器で使用することはできません。なぜなら、LO 結合を使用すると、RF キャリアごとに位相を個別にセットできる可能性がなくなってしまうためです。

B90/K90 オプションは、低い周波数制限があり、SMW および SMBV の場合では 200 MHz、SGT および SGS の場合では 80 MHz となっています（機器のデータシートも参照してください）。

セットアップ例：最大 20 GHz の 4 チャネルシステム

例えば、最大 20 GHz の 4 つの位相コヒーレント RF 信号を生成するには、1 つの SMW (2 チャネル機器) および 2 組の SGS/SGU (外部 RF 出力として使用) が必要となります。セットアップ全体が 1 つのユニットとして機能し、直感的な SMW タッチスクリーンによって便利にコントロールされます。SMW は、2 つの 20 GHz 位相コヒーレントチャネルを生成し、また、2 つの外部 RF 出力に I/Q ベースバンド信号および LO 信号を提供します。4 つの RF チャネル間の相対的な位相は、SMW のベースバンドにデジタルでセットされます。

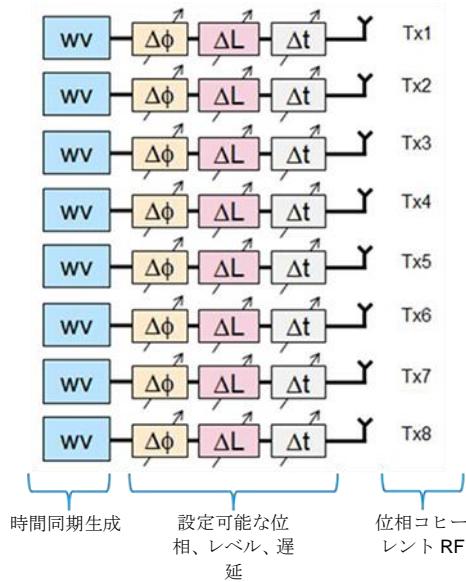


4.2 他に重要なことは何ですか？

位相コヒーレンスアプリケーションの大多数では、信号発生器または信号発生器のセットに以下の機能を備えている必要があります：

- 複数の位相コヒーレント RF 搬送波の生成
- RF 出力ごとに 1 つずつの、正しくコード化されたベースバンド信号の生成
- 時間同期 RF 信号の生成
- すべての RF 信号の位相、レベルおよび時間オフセットを、個別に、理想的に、信号を中断させることなくリアルタイムでセットすることができます。

特に、高度に同期した RF 試験信号の生成は困難です。複数の信号源を同期させることは、常に困難です。加えて、ケーブルなどの外部部品の時間オフセットも補償する必要があります。



(「WV」は波形を表します)

SMW は、次のすべての要件を満たしています：

位相コヒーレンスアプリケーションのための SMW		
要件	SMW 機能	詳細
複数の RF 信号の生成	2 つの内部 RF 出力 + 外部 RF 出力の接続 • 最大 2 SGS • 最大 2 SGS/SGU の組み合わせ • 最大 6 SGT	参考文献[1]を参照してください
RF キャリア間の位相コヒーレンス	SMW RF と外部 RF 間の LO 結合	セクション 4.1 を参照してください
各 RF 出力の個々のベースバンド信号	1 つの SMW から最大 8 つのベースバンド信号 (例、ARB) を生成するための SMW-K76 オプション	セクション 5.1 を参照してください
同期ベースバンド信号	固有の同期を持つすべてのベースバンド信号用の 1 つの共通ベースバンドセクション	セクション 8.2.1 を参照してください
設定可能なフェーズ	各ベースバンド信号のベースバンド位相オフセット。リアルタイムで設定可能。	セクション 7.2 を参照してください
設定可能なレベル	RF ステップアップアッテネーターおよび各 RF 出力の設定可能なデジタル減衰。リアルタイムで設定可能。	セクション 7.4 を参照してください
設定可能な時間遅延	グローバルトリガーオフセット; 各 RF 信号のデジタル時間遅延。リアルタイムで設定可能。	セクション 7.3 を参照してください

5 セットアップ例

Rohde & Schwarz 試験ソリューションには、お客様のニーズを最適に満たすための拡張性があります。必要な発生器の数および種類は、必要な位相コヒーレントチャネルの数および RF 周波数次第であります。

このセクションでは、いくつかのセットアップの例をより詳細に紹介します。これは、SMW のセットアップに焦点を当てています。可能なセットアップのより包括的なリストについては、このドキュメントの付記を参照してください。

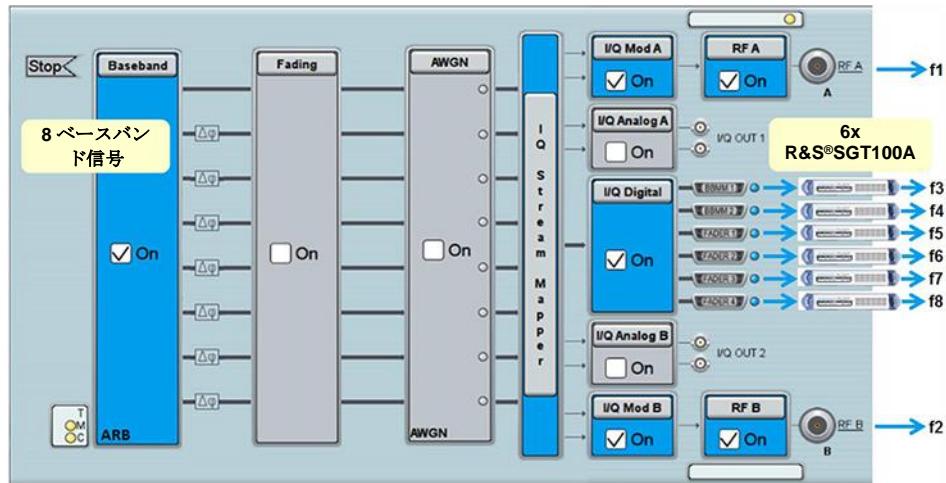
次の表に、位相コヒーレントチャネルを生成するための試験のセットアップをリストします。小さなフォームファクターおよび試験セットアップの扱いやすさは、市場において独特なものです。発生器は、1つのユーザーインターフェースを介して便利にコントロールされます。コンパクトなサイズおよび優れた位相安定性により、これらのマルチチャネルセットアップは、理想的な試験ソリューションになります。

異なるセットアップの例			
チャネル数	周波数(最大)	発生器 R&S®	総 HU
8	6 GHz	1 x SMW, 6 x SGT	7
4	12.5 GHz	1 x SMW, 2 x SGS	5
4	20 GHz	1 x SMW, 2 x SGS, 2 x SGU	6
8	20 GHz	2 x SMW, 4 x SGS, 4 x SGU	12
3	40 GHz	1 x SMW, 2 x SGS, 2 x SGU	6

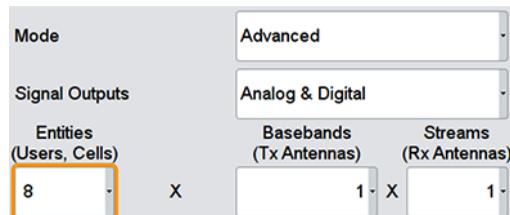
5.1 最大 6 GHz の 8 チャネルシステム

K76 オプションは、SMW が、2 つの内部ベースバンド発生器から、各ベースバンド信号に個別の位相オフセットを持つ、8 つの時間同期ベースバンド信号を生成することを可能にします。SMW セットアップは、6 つの SGT (外部 RF 出力として使用) と組み合わさることで、最大 6 GHz の 8 つの位相コヒーレント RF 信号を生成します。

SMW は、6 つの外部 RF 出力に、I/Q ベースバンド信号および LO 信号を提供します。SGT は、デジタル I/Q インタフェースを介して接続されています。8 つの RF チャネル間の相対的な位相は、SMW のベースバンドにデジタルでセットされます (▲-サイン-によって表されます。詳細については、セクション 7.2 を参照してください)。各信号の最大 RF 帯域幅は 80 MHz です。



SMW に必要なシステム構成は $8 \times 1 \times 1$ になります。



各ベースバンド信号（ストリーム）は、IQストリームマッパー内の分けられた出力（例えば、デジタル出力「BBMM1」）に送られます。セットアップ全体が 1 つのユニットとして機能し、直感的な SMW タッチスクリーンによって便利にコントロールされます。SGT の接続方法については、参考文献[1]に詳しく説明されています。

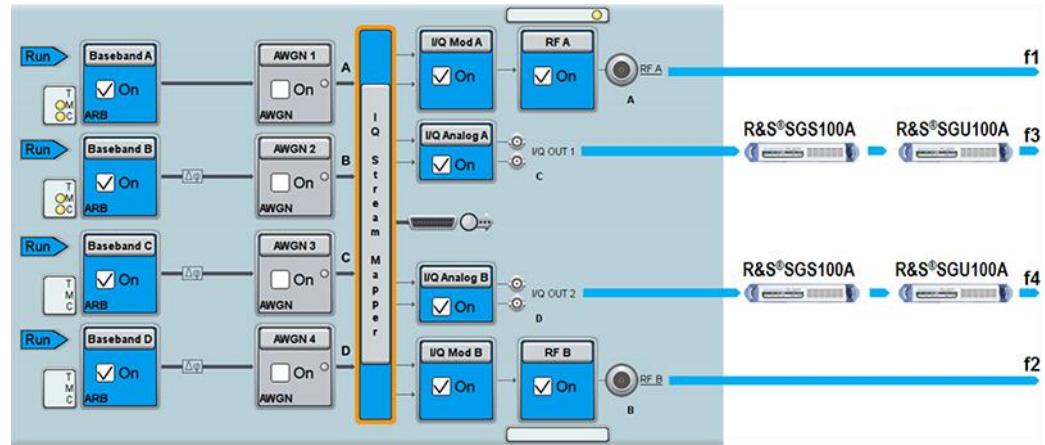
このセットアップに必要な機器オプションの詳細については、参考文献[6]を参照してください。

注記：8 つの SGT をスタンドアローンで使用すると、最大 6 GHz の 8 チャネルシステムも実装することができます。これらの機器は、各信号に対して、最大 240 MHz の RF 帯域幅で時間同期されたベースバンド信号を提供するように結合することができます。このソリューションは ARB ベースであり、外部ソフトウェア SGMA GUI によってコントロールされます（リファレンス[1]を参照してください）。

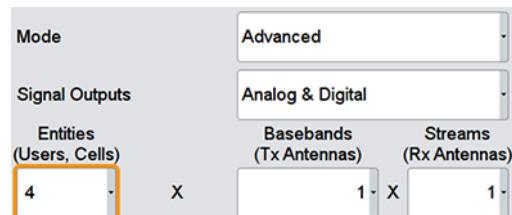
5.2 最大 20GHz の 4 チャネルシステム

SMW は、2 セットの SGS/SGU（外部 RF 出力として使用）と組み合わせて、最大 20 GHz の 4 つの位相コヒーレント RF 信号を生成します。

SMW は、2 つの外部 RF 出力に、I/Q ベースバンド信号および LO 信号を提供します。SGS/SGU セットは、アナログ I/Q インタフェースを介して接続されています。すべての RF チャネル間の相対的な位相は、SMW のベースバンドにデジタルでセットされます。各信号の最大 RF 帯域幅は 160 MHz です。



SMW に必要なシステム構成は $4 \times 1 \times 1$ になります。



各ベースバンド信号（ストリーム）は、IQストリームマッパー内の分けられた出力に送られます。セットアップ全体が1つのユニットとして機能し、直感的なSMWタッチスクリーンによって便利にコントロールされます。SGS/SGUセットの接続方法については、参考文献[1]に詳しく説明されています。

このセットアップに必要な機器オプションの詳細については、参考文献[6]を参照してください。

6 何を考慮する必要がありますか？

6.1 温度

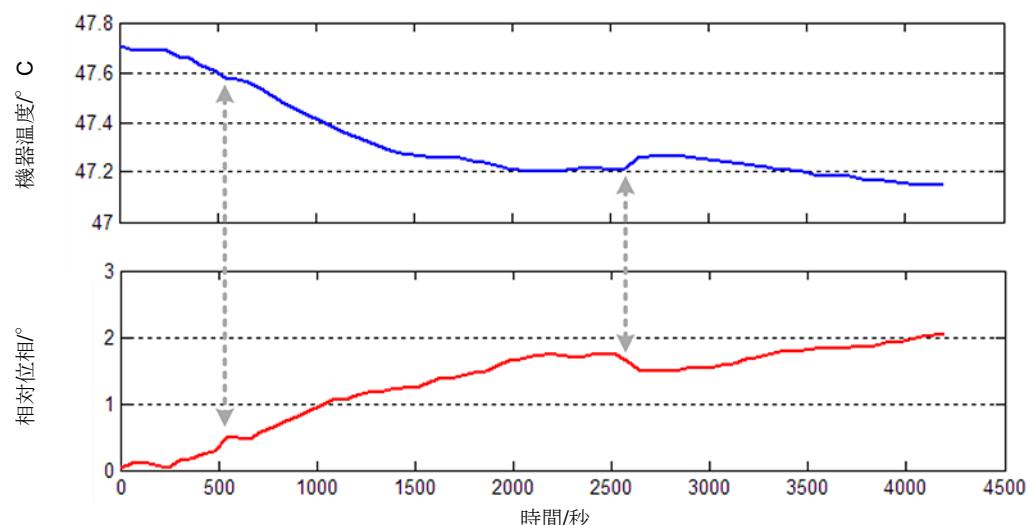
温度は位相に大きな影響を与えます。信号発生器の温度が変化すると、電子部品のドリフトによって位相が変化し、ケーブルおよび導体路の電気的長さが変化します。低い位相ドリフトを得るためにには、一定の温度を確保する必要があります。

- 1) 機器を起動後に、少なくとも 30 分間ウォームアップをする必要があります。
- 2) 機器の周囲温度と内部温度は、非常によく相関しています。内部温度は、周囲温度の変化に比例的に反応します。つまり、周囲温度を一定に保つ必要があります。

ヒント：機器の内部温度の温度傾向を、遠隔的に照会して監視することができます。SCPI コマンド `DIAGnostic:POINT:CATAlog?` 機器の使用可能なテストポイントに戻ります。（テストポイントの詳細な説明については、サービスマニュアルに記載されています。）たとえば、次の SCPI コマンドを使用して温度を照会することができます：

`SMW:DIAGnostic:POINT? "MWOPU_TEMP_DB2"` または
`DIAGnostic:POINT? "RFOPU_TEMP_CELSIUS"`
`SGS: DIAGnostic:POINT? "D_TEMP_RFB"`
`SGT: DIAGnostic:POINT? "D_TEMP_RFB"`

次の図は、10 GHz で測定した位相に対する温度変化の影響を表しています。機器の温度は 1°C 未満しか変化していないとも、計測された相対位相は 2° ずれてしまいます。この例では、灰色の矢印で示されるような任意の（小さな）温度変化に、位相が直接に反応しています。



温度効果は、RF周波数およびケーブル/ラインの長さが長くなると増加します。

背景：

同軸ケーブルの位相変化は、次の式で表すことができます：

$$\phi = \frac{360^\circ f l \sqrt{\epsilon_r}}{c}$$

ここでは、 f は RF 信号周波数、 l は物理的なケーブルの長さ、 c は光の真空速度、 ϵ_r はケーブルの誘電体媒体の比誘電率となっています。

電気的長さは $l\sqrt{\epsilon_r}$ で与えられます。物理的長さおよび比誘電率の両方とも、温度変化には敏感です。物理的な長さは、熱膨張によって変化します。比誘電率は非線形に変化し、材料ごとに異なります。詳細については、参考文献[2]を参照してください。これは、与えられた温度変化に対して結果として得られる位相変化は、RF周波数が高くなり、ケーブル/ラインの総延長が長くなるほど、より重要であるということを意味しています。

例えば、最初の長さが 50cm の LO 接続ケーブルを考えてみます。RF周波数は 5 GHz とします。初期温度は室温とし、+1°C 変化するとします。温度上昇が 0.1%、すなわち、0.5mm の電気的長さの増加をもたらすとすると、これはケーブルに沿って 3° の相変化をもたらすことになります。

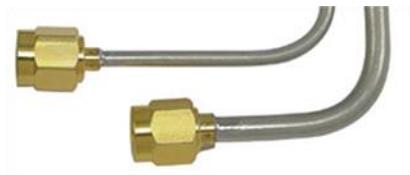
LO 信号の位相変化は、2つの LO 結合 RF 信号間の相対位相に直接に影響します。LO 接続ケーブルの長さが 20cm 短くなるとすると、上の計算例では 1.8° の位相変化となります。短いケーブルは、温度に起因する位相ドリフトを大幅に低減するのに役立ちます。

典型的なマイクロ波ケーブルは、誘電媒体として PTFE を使用しています。PTFE の電気的長さは、室温付近で大きなキックを示す温度によって変化します。このいわゆるテフロン™ ニーは、15° C から 32° C の間の温度でケーブルを操作する際に、位相ドリフトを増加させます。この理由により、32°C 以上の安定した温度環境でセットアップを操作することが有益となります、例、密閉され加熱されたラックまたは温度制御されたチャンバー内。例：PTFE の温度依存性の詳細については、参考文献[2]を参照してください。

6.2 ケーブル接続

LO および RF 信号に適したケーブルの使用は、非常に重要です。位相安定ケーブルを使用することは必須です。

できるならば、セミリジッドケーブルの使用を推奨します。セミリジッドケーブルは、銅製の外側シースを備えた同軸ケーブルです。ケーブルにはあまり柔軟性がないので、最初の成形後に曲げられる様には作られていません。



フレキシブルケーブルが必要な場合は、R&S テストケーブル（ネットワークアナライザのアクセサリー）を使用してください。例、R&S ZV-Z195 をお勧めします。



いずれにしても、LO 信号と RF 信号の接続ケーブルは、できるだけ短くする必要があります。加えて、ケーブルは、意図した RF 周波数に適していなければなりません。

6.3 LO 配分

すべての RF キャリアにおける高い位相安定性は、共通の LO 信号が必要となります。LO 信号を分配する最も簡単な方法は、デイジーチェーン接続による方法です。各カスケード接続された R&S 機器は、適切な LO 信号レベルを維持するために、LO 信号を増幅します。

温度の影響を受けにくくするため、LO 信号の周波数は、常に 6.5 GHz 以下に保たれています（詳細については、機器のデータシートを参照してください）。例えば、40 GHz の RF 出力の場合、LO 周波数は希望している RF 周波数よりも 8 倍低いので、より良い位相安定性に寄与しています。LO 周波数は、機器により自動的に乗算されます。

一般的な LO 信号は、RF キャリア間の位相ドリフトを最小限に抑えますが、DACs、I/Q 変調器、電力増幅器、電子ステップアップテネーター（すなわち、要因 3）などの信号生成チェーンの他のコンポーネントにはまだドリフトがあります。（セクション 3.2.1 のままでです）。

くわえて、LO 接続ケーブルへの温度影響が残っています。温度変化により、ケーブルの有効電気長が変化します。この理由により、LO デイジーチェーン接続には、チェーン内の最後の機器が温度起因の位相ドリフトに最も被害をこうむるという欠点があります（最も長い有効 LO ケーブル長であるため）。最適な性能を得るには、同じ物理ケーブル長を持つすべての LO 接続で、対称セットアップを行うことです。この場合、LO 信号を分割して、すべての機器に分岐する必要があります。ですが、LO レベルは維持されなければなりません。この場合、合理的な仕様のパッシブスプリッタまたは分配増幅器を使用する必要があります。

6.4 振動/衝撃

フレキシブルケーブルを触ったり曲げたりすると、位相が変化します。いかなるケーブルの動きも避ける必要があります。必要に応じて、動きを防ぐために、建具に固定することができます。振動およびショックは、セットアップに影響してはなりません。たとえば、テストラックまたはベンチにわずかに当たっても、フレキシブルケーブルが振動してしまいます。組み替えるためにケーブルを曲げると、これはたとえば位相を簡単に3度変えてしまします。(高品質ケーブルには、曲げられた時の位相安定性の仕様があります。)

6.5 RF 周波数

1 GHz REF カップリング

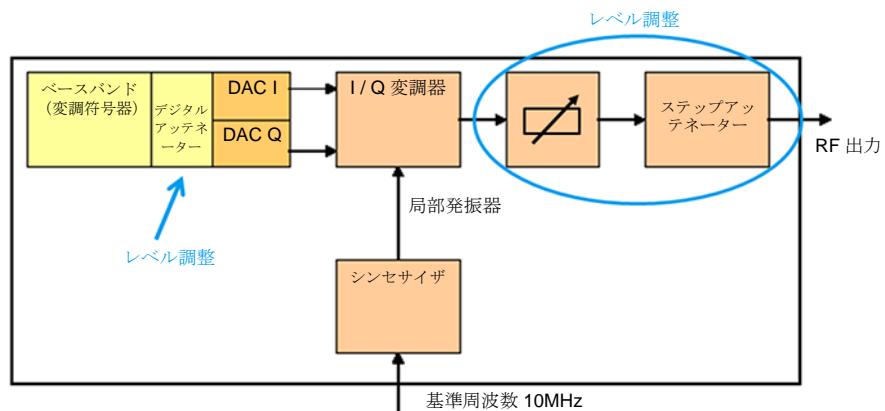
各カスケード接続された R&S 信号発生器の RF 周波数は、個別に、すなわち、異なる値に設定することができます。

LO 結合

各カスケード接続された R&S 信号発生器の RF 周波数は、共通の LO 信号によって結合されます。しかし、信号発生器に正しい RF 周波数をセットすることは、依然として重要です。内部フィルタを正しくセッティングする(例、高調波フィルタ)ため、および正しい内部補正データを適用するため(例、周波数応答補償のため)の周波数情報が必要となります。SMW によってコントロールされる信号発生器(SGT/SGS)は、SMW から周波数情報を自動的に取得します。他のセットアップでは、ユーザーは各信号発生器で、RF 周波数を同じ値にセットする必要があります。

6.6 RF レベル

アンプ、可変アッテネーター、ステップアッテネーターを使用することによって、RF レベルは、広いセッティングレンジ(約 170 dB)の獲得を達成しています。



電子ステップアッテネーターは、さまざまな減衰器（異なる減衰）およびスイッチで構成されています。必要な全体での減衰によってスイッチをセットすることにより、信号が特定のアッテネーターのセットを通過するようになります。レベルが変更されると、信号が異なるアッテネーターのセットを通過するようにスイッチがリセットされます。信号によって通過するアッテネーターおよびスイッチの数は、レベルによって異なります。これは、ステップアッテネーターを通る信号経路の物理的な長さが変化することを意味します

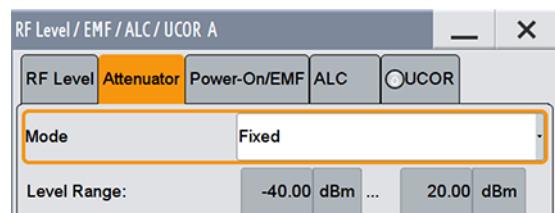
（mm から cm のレンジ）。くわえて、信号経路に沿った各スイッチは、大きな位相シフトを引き起こします。その結果、ステップアッテネーターの位置が変更されると、RF 信号の位相も大きく影響を受けることになります。（位相変化は、微細な角度だけではなく、最大 360 度まで起こります）。

メカニカルステップアッテネーターのレイアウトは単純ですが、同様の状況になります。

RF レベルが変化すると、ステップアッテネーターは、約 5dB ずつその位置を変化させます。ステップアッテネーターの粗いステップ内において、RF レベルは可変アッテネーターによって微調整されます。ノイズおよび高調波に関して最適な RF 性能を達成するためには、ステップアッテネーターの位置が頻繁に変更されることによって、可変アッテネーターが最適に動作できるようになります。

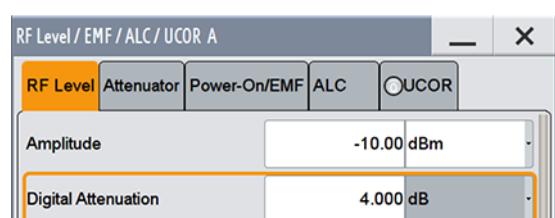
位置の変更は、固定 RF レベルのセッティングでは発生しませんが、機器の校正中に決定され、機器ごとに異なっています。従いまして、どの RF レベルセッティングにおいてステップアッテネーターがその位置を変えるかは、確実には予測することができません。

これらの位置変化を回避するために、ステップアッテネーターの位置をロックすることができます。この場合、RF レベルは、レベルレンジが制限された中で、可変アッテネーターによってのみ変更することができます。



可変アッテネーターの減衰を変化させると、インピーダンス整合が変化し、その結果位相変化が生じる可能性があります。位相変化は適度なもので、それは、数 dB にわたってゼロであることがあります、数度になる場合もあります。

ベースバンドを介して RF レベルを変える可能性もあります。通常、ノイズに関して最適な RF 性能を達成するために、デジタル I/Q 信号は常にフルスケールにレベル調整されています。ですが、信号をデジタル的に減衰させることは可能です。この場合、位相はまったく影響を受けることはありません。位相変化はありません。



よって、RF レベルの変更があまり重要ではない場合には、位相コヒーレンスアプリケーションによって、RF レベルを変更することをお勧めいたします。デジタル減衰が非常に高く設定されていると、SN 比が悪くなります。これは、ノイズレベルが一定のままではなく、信号レベルが大幅にフルスケールレベルを下回っており、ノイズフロアに近いためです。

次の表は、RF レベルをコントロールする 3 つの異なるモードをまとめたものです。

RF レベル調整 - RF フェーズへの影響	
減衰タイプ	位相への影響
ステップアッテネーター (アッテネーター モード: 自動)	高
可変アッテネーター (固定ステップアッテネーター) (アッテネーター モード: 固定)	適度
デジタル減衰 (アッテネーター モード: 自動または固定)	なし

7 設定方法

7.1 LO 結合の設定方法

共通 LO 信号は、通常は **SMW** の **RF A** であるマスターシンセサイザによって生成されています。1つの **SMW** 内で、第 2 の RF パス **B** は、外部ケーブルなしで LO 結合することができます。他の機器の LO 結合には、外部ケーブル接続が必要です、例、デイジーチェーン接続。

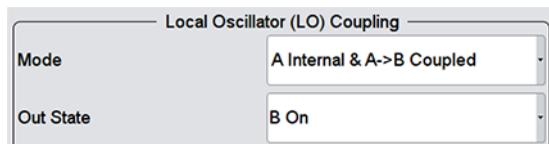
ケーブル配線 : LO デイジーチェーン接続

- マスター機器の **LO OUT** コネクターを、最初のスレーブ機器の **LO IN** コネクターに接続します。最初のスレーブ機器の **LO OUT** コネクターを、2番目のスレーブ機器の **LO IN** コネクターに接続します。その他も同様です。

機器のコンフィグレーション :

LO マスター **SMW** :

- "RF A" ブロックをタッチし、リストから "Reference Freq/LO Coupling" を選択します。LO カップリング "Mode" を "A Internal & A→B Coupled" にセットし、"Out State" を "B On" にセットします。



これらのセッティングでは、RF パス **A** は、内部シンセサイザを使用します。RF パス **B** は、RF パス **A** からのシンセサイザ信号を使用します。LO 出力が可能である、すなわち、LO 信号が LO OUT コネクタに存在するということです。

LO スレーブ **SGT** または **SGS/SGU** :

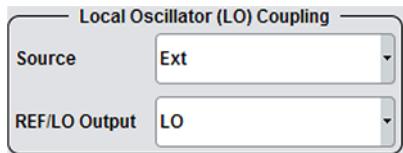
2つの可能性があります :

- 1) 機器は **SMW** から制御されます(全体のセットアップはユニットとして機能します)。
推奨セットアップ

SGT/SGSs は、コントロールインターフェース (USB または LAN) を介して **SMW** に接続されます。ユーザーが、**SMW** 上で LO 結合 "Out State" を "B On" にセットすると、**SMW** は、自動的に LO 結合を使用するように **SGT/SGS**s を構成します。これらの機器は、マスターシンセサイザからの外部 LO 信号を自動的に使用します。

- 2) 機器は **SGMA** GUI からコントロールされます (参考文献[1]を参照してください)

- "SGx-yyyyyy" ブロックをクリックして、リストから "RF→Frequency/Phase" を選択します。LO のカップリング "Source" を "Ext" にセットして、"REF/LO Output" を "LO" にセットします (チェーンの最後のスレーブの LO 出力のみを "Off" に設定することができます)。



これらのセッティングでは、機器はマスターシンセサイザからの外部 LO 信号を使用します（下のアイコンで示されています）。LO 出力が有効になります。



LO スレーブ SMW :

- “RF A”ブロックをタッチし、リストから “Reference Freq/LO Coupling”を選択します。
- LO カップリング “Mode”を “A External&A→B Coupled”にセットし、“Out State”を “B On”にセットします。

これらのセッティングでは、RF パス A および B は、マスターシンセサイザからの外部 LO 信号を使用します。

7.2 ベースバンドの位相のセットの方法

- “Baseband”ブロックにフェーズタッチをセットして、リストから “Baseband Offsets”を選択します。次のウインドウが開きます：

Baseband Offsets			
	Frequency Offset Hz	Phase Offset °	Gain dB
Baseband A	0.00	0.00	0.000
Baseband B	0.00	23.60	0.000
Baseband C	0.00	35.00	0.000
Baseband D	0.00	67.70	0.000
Baseband E	0.00	3.50	0.000
Baseband F	0.00	147.50	0.000
Baseband G	0.00	27.50	0.000
Baseband H	0.00	138.80	0.000

SCPI : SOUR2:BB:POFF 23.6

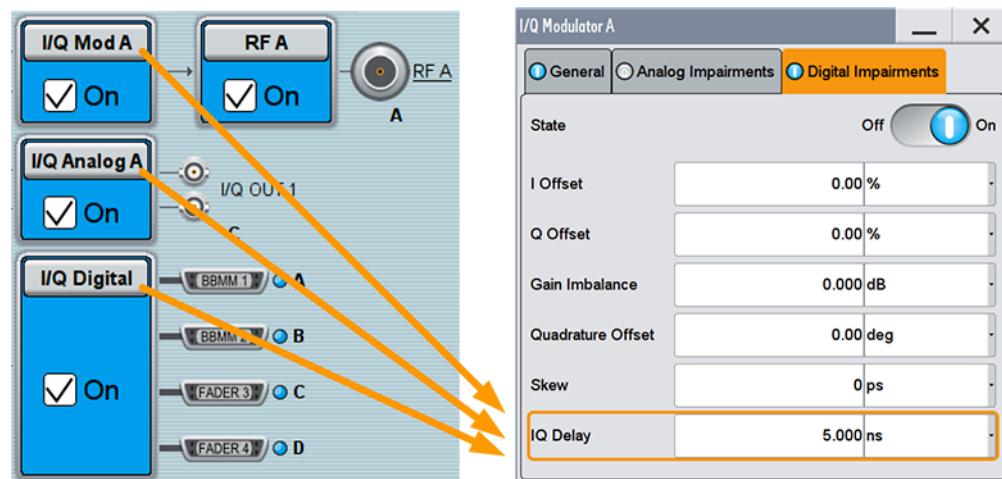
ショートカット：ユーザーが、“Baseband”ブロックから出て行く矢印に触ると、ウインドウが開きます。

ユーザーは、ベースバンド信号ごとに位相オフセットを別々に定義することができます。位相オフセットは、ベースバンド信号の再計算を必要とせずに、リアルタイムで適用されます。

7.3 遅延を補う方法

位相オフセットパラメータは、RF搬送波位相を整列させるための正しいパラメータですが、ケーブル接続などによる大きな遅延を補償するのに正しいパラメータではありません。

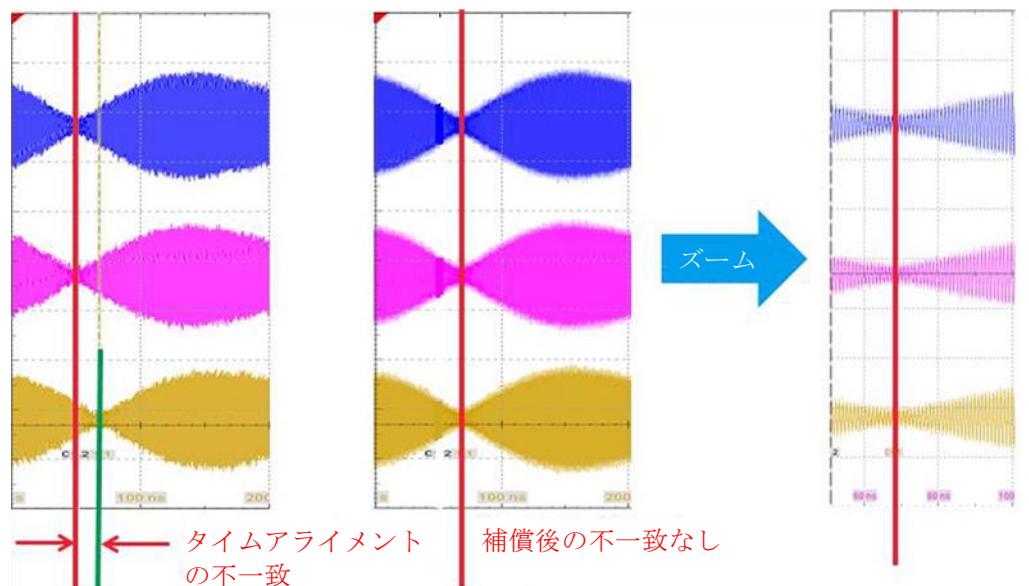
- ▶ 遅延を補正するには、パラメータ "IQ Delay" を使用します。



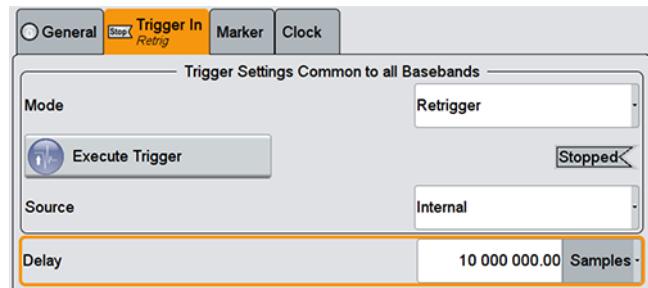
SCPI : SOUR:BB:IMP:RF1:DEL 5.0E-9

このパラメータは、デジタル障害の一部であり、ベースバンド信号 (I信号およびQ信号の両方) をピコ秒の分解能で遅延させます。“IQ delay”は、各信号に対して、リアルタイムで個別にセットすることができます。

先頭の信号を故意に遅延させることによって、ユーザーはすべてのRF信号を整列させることができます。



“IQ delay”には、セッティングレンジが限定されています（例、SMW 上で最大 $10 \mu\text{s}$ ）。さらに大きな遅延を得るために、必要に応じてベースバンドソースのトリガーを遅らせることができます。これは、意図的なトリガー遅延が、ユーザーがベースバンドのトリガーメニューで指定できることを意味しています。この遅延は、信号の開始を延ばします。これは最大で数秒まで可能ですが、解像度は 1 サンプルに制限されており、リアルタイムではセットできません。



7.4 RF レベルを変更する方法

セクション 6.6 で説明したように、RF レベルは、デジタル減衰 または可変アッテネーターを介して変更する必要があります（アッテネーター モードの “Fixed” - くわえて、自動レベル制御 (ALC) ループのドライバーアンプを固定する必要があります、セクション 7.4.1 を参照してください）。

- ▶ 位相に影響を与えないでの、デジタル減衰を使用してレベルを変更するのが好ましい方法です。
- ▶ 約 20 dB 以上のデジタル減衰については、RF 信号の信号対ノイズ比 (S/N) を考慮し、さらに高いデジタル減衰を許容できるかどうかを確認してください。
- ▶ アプリケーションが S/N の更なる漸減を許容していないのに、さらにレベルを下げる必要がある場合には、デジタル減衰とアッテネーター モードの組み合わせの “Fixed” を使用します。位相変化がないかを確認してください（相対位相を計測する方法については、セクション 9 を参照してください）。

例：

レベルは、0 dBm から -30 dBm まで変化します。

例えば RF レベルを -5 dBm にセットして、ステップアッテネーターをその位置にロックします。-5 dBm から 0 dBm のレベルについては、可変アッテネーターを介して行われます（新しい RF レベルを設定するときは、自動的に行われます）。-5 dBm から -10 dBm のレベルについてもまた、可変アッテネーターを介して行われます（新しい RF レベルを設定するときは、自動的に行われます）。このようにすると、可変アッテネーター、はその最適な動作点から大きく外れることはありません。したがって、位相変化は起きにくいのですが、確認をする必要があります。-10 dBm から -30 dBm のレベルは、デジタル減衰によって行われます（ユーザー アクションによります）。これはつまり、新しい RF レベルは設定されないということですが（-10 dBm のままで）、その代わりにユーザーは、0 dB から 20 dB のレンジにおいて追加のデジタル減衰値をセットします。

- ▶ “Fixed” のアッテネーター モードで位相が変化している場合 および/または S/N がデジタル減衰により低すぎる場合には、ステップアッテネーターを使用する必要があります（アッテネーター モードは “Auto”）。これは位相を変化させ、そして相対位相の新しい校正を必要とします。

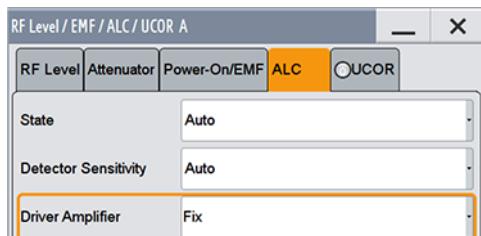
7.4.1 アッテネーターの位置をロックする方法

SMW :

- ▶ RF 出力ごとに、"RF A/B"ブロックをクリックし、リストから "Attenuator ..."を選択します。モードを "Fixed" にセットします。



- ▶ "ALC"タップに切り替えます。"Driver Amplifier"を "Fix"にセットします。



ステップアッテネーターの位置を "fixed" にセッティングするときは、常に ALC のドライバーアンプも "fix" にセッティングしてください。可変アッテネーターを除いて、レベルコントロール用のハードウェアが完全に固定されました。

SGT および SGS/SGU :

機器は、SCPI コマンドを介した SMW または代わりに SGMA GUI からコントロールすることができます（リファレンス[1]を参照してください）。

- ▶ "SGx-yyyyyy"ブロックをクリックして、リストから "RF→Level"を選択します。
- ▶ "Attenuator"タップに切り替えます。モードを "Fixed" にセットします。

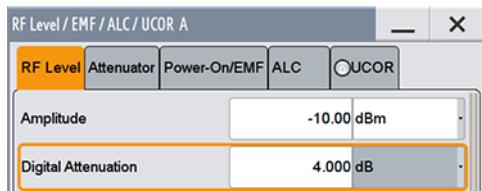
SCPI : OUTP:AMOD FIX

7.4.2 デジタル減衰をセットする方法

デジタル減衰は、ベースバンドオフセットによってはセットされません。ベースバンドオフセットパラメータ "Gain"は、RF 出力信号に影響を与えません（このパラメータは、SMW 内部でベースバンド信号が追加されたときの相対ゲインのみをセットするためです）。

SMW :

- ▶ RF 出力ごとに、"RF A/B"ブロックをクリックし、リストから "Level ..."を選択します。
- ▶ デジタル減衰をセットします。



SGT:

機器は、SCPI コマンドを介した SMW または代わりに SGMA GUI からコントロールすることができます（リファレンス[1]を参照してください）。

- ▶ "SGT-yyyyy" ブロックをクリックして、リストから "RF→Level" を選択します。デジタル減衰をセットします。

SCPI : SOUR:POW:ATT:DIG 4

SGS/SGU:

これらの機器は、ベースバンドがないため、デジタル減衰を直接にサポートしていません。よって、外部 I/Q 信号に減衰を適用しなければなりません。これは、I/Q 信号を供給している機器によって減衰を行わなければならないことを意味しています。

- ▶ SMW 上で、アナログ I/Q 出力信号のレベルを下げる。これは、以下の方法で行うことができます：
- ▶ "I/Q Analog A/B" ブロックをクリックし、リストから "I/Q Analog Outputs ..." を選択します。
- ▶ "Mode" パラメータを "Fixed" から "Variable" に変更します。
- ▶ 出力レベルを設定します。出力レベルは電圧レベルであり、パラメータ "I/Q Level Vp (EMF)" で調整可能です。EMF は、起電力を表しています。

例：

オシロスコープで計測した 1.0V (EMF) :

- 高インピーダンス終端では、スコープは 1.0V のピーク電圧を示します。
- 50Ω のインピーダンス終端では、スコープは 0.5 V のピーク電圧を示します。

- ▶ お役立ち：出力レベルの単位を「dBm」に変更します。1.0 V (EMF) のデフォルト値は、13.01 dBm に変換されます。これがフルスケールレベルとなります。これで、減衰をより簡単にセットすることができるようになります。

例：

減衰は 4.5 dB とします。

$13.01 \text{ dBm} - 4.5 \text{ dB} = 8.51 \text{ dBm} \rightarrow \text{"I/Q レベル Vp (EMF)"} \text{ を } 8.51 \text{ dBm} \text{ にセット}$

8 校正 - 位相および時間のアライメント

実際の計測を準備するには、まずはセットアップを校正しなければなりません。すなわち、RF チャネル間の相対位相を調整する必要があり、チャネル間の時間遅延を補償する必要があります。

校正手順は、要求される試験信号のタイプによります：

- CW 信号
- 非 CW 信号、すなわち I/Q 変調 RF 信号

概要 - 位相および時間のアライメント				
要求された試験信号	位相アライメント	タイムアライメント	推奨校正信号	詳細
CW	必要	必要ではない	CW	セクション 9.4 を参照してください
I/Q 変調済み	必要	必要	FM チャープ	セクション 9.5 を参照してください

あらゆる場合において、位相アライメントは必要です。タイムアライメントは、I/Q 変調テスト信号にのみ必要です。しかし、ほとんどのアプリケーションでは、I/Q 変調テスト信号の使用を必要とします。

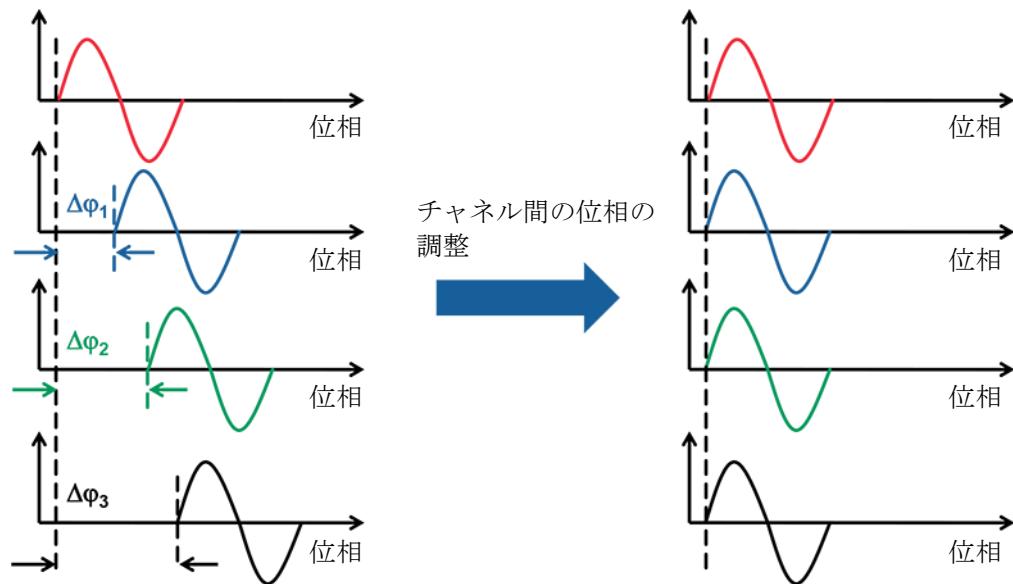
注記：

厳密に言いますと、位相コヒーレンスは、等しい周波数を有する CW 搬送波に対してのみ規定されます（または 周波数が互いに重複する CW 搬送波に対して）。I/Q 変調信号の場合では¹、位相コヒーレンスは、信号の中心搬送波に対してのみ規定されます。

8.1 位相アライメント

LO 結合の場合では、RF 搬送波間の相対的な位相は安定しています。すなわち、RF 搬送波は、位相コヒーレントということになります。しかしながら、最初は相対的な位相は不明です - これらは任意の値を持っています。このセクションでは、相対位相を特定の希望値、たとえば 0° に調整する方法について説明いたします。

¹ LO 結合により、位相をコントロールできるようにするために、I/Q 変調を使用したベースバンドを介して CW 信号も生成する必要があります。しかしながら、このセクションおよび以下のセクションでは、I/Q 変調信号は、通常の意味での変調されたベースバンド信号、すなわち LTE 信号またはパルス信号のような信号帯域幅を示す信号を示すものとします。

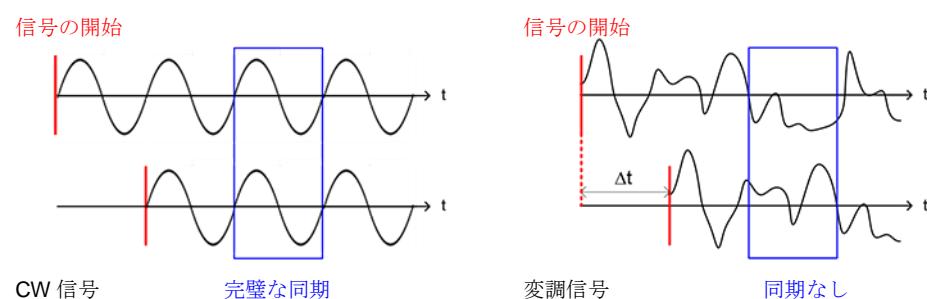


- ▶ 後ほど DUT に接続するためのケーブルで校正を実行します。

ケーブル（タイプおよび長さ）は、位相に強く影響するため、校正にケーブルを含めることが重要です。例えば、1mm の追加のケーブル長は、6 GHz の RF 周波数において、約 7° の位相シフトをもたらします。

8.2 タイムアライメント

I/Q 変調信号を使用するアプリケーションにおいては、ベースバンドソースの正確な同期が絶対的に必要です。対照的に、CW 信号を使用するアプリケーションでは、CW 信号の周期性のために、信号が完全に同期し始めるかどうかは関係ありません。この場合には、位相アライメントのみで十分です。しかしながら、I/Q 変調信号の場合、次の図に示すように、信号が時間的にずれる可能性があるため、同期スタートが重要になります。追加のタイムアライメントが必要です。



8.2.1 前提条件：ベースバンド同期

すべてのベースバンドソースの同期スタートは、厳しい要件です。

単一の機器

すべてのベースバンド信号が単一の機器内で生成されるのであれば、ベースバンド同期は大幅に簡素化されます。SMWは、最大8つのベースバンド信号を同時に生成することができます。すべての“Advanced”システムコンフィグレーションにおいては、ベースバンド信号は、“TCM”アイコン内の“chain”記号で示される通りに同期を開始します。



標準的なシステムコンフィグレーションおよび2x1x2の“Advanced”システムコンフィグレーションにおいては、ベースバンドBをベースバンドAから内部的にトリガーすることによって（ユーザーによって）ベースバンド信号を同期させる必要があります。

ベースバンドの完璧な同期は、すべてのベースバンド信号が同じサンプルレートを持つ場合にのみ保証されます。よって、すべてのチャネルに共通のサンプルレートを使用する必要があります。サンプルレートが異なる値に変更される可能性があります - サンプルレートが常にすべてのベースバンド信号に共通である限り、これが内部遅延を変更することはありません。

複数の機器

ベースバンド信号が複数の機器によって生成される場合、ベースバンド同期を保証する必要があります。ベースバンドソースが同じベースバンドクロックを共有していることが理想的です。ベースバンドクロックが機器間で共有されておらず、各機器がそれぞれ独自のベースバンドクロックで作動している場合、1クロックサイクルのトリガー不確実性があります。



トリガー遅延（ケーブル + 処理時間）：
例、25 ns

トリガー不確実性：
1クロックサイクル、例、5 ns

トリガー遅延（ケーブル + 処理時間）：
例、25 ns

トリガー不確実性：
0クロックサイクル、0 ns

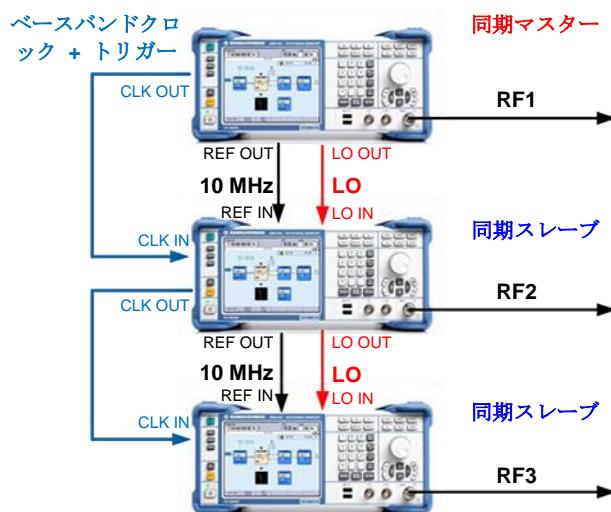
一般的なベースバンドクロックは、トリガーの不確実性を排除します。

しかしながら、一定のトリガー遅延は残ります。これは、

- ケーブルのタイプ（誘電体媒体）および長さに依存する信号伝搬遅延によって引き起こされます
- 信号発生器の処理遅延、すなわち、発生器が、入力トリガーに反応する必要がある時間。

トリガー遅延は、補償することができる一定の値です。トリガー遅延に加えて、機器内部の信号伝播遅延があります（例、ステップアップテネーターによって引き起こされる）。結果として生じる遅延の合計は、セクション 8.2.2 にて詳細に説明されるように、補償される必要があります。

ベースバンドのクロックおよびトリガを共有するセットアップは、マスター/スレーブセットアップと呼ばれています。詳細については、参考文献[5]を参照してください。次の図は、3 つの SMBV を例として表しています。各 SMBV は、単一のベースバンド信号を生成します。すべてのベースバンドソースを同期させるために、マスター機器は、ベースバンドクロック信号をスレーブ機器に提供します。くわえて、マスターは、クロック信号に変調されたトリガー信号を発します。



マスター/スレーブセットアップは、以下の信号発生器によってサポートされています：

- SGT
- SMBV

将来的には、SMW が、マスタースレーブモード（またはそれに相当するもの）をサポートする予定です。

マスタースレーブ作動のための機器の設定方法については、参考文献[5]を参照してください。

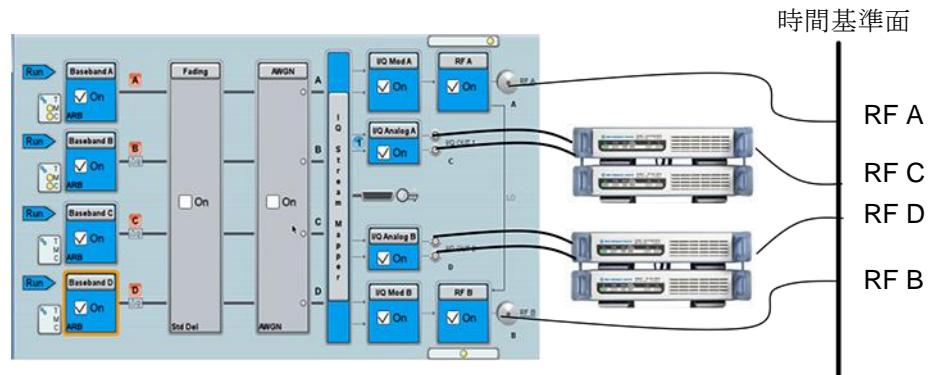
8.2.2 タイムアライメントの原理

タイムアライメントがなければ、RF 信号は、以下の要因により、完全に同期して DUT に到着しません：

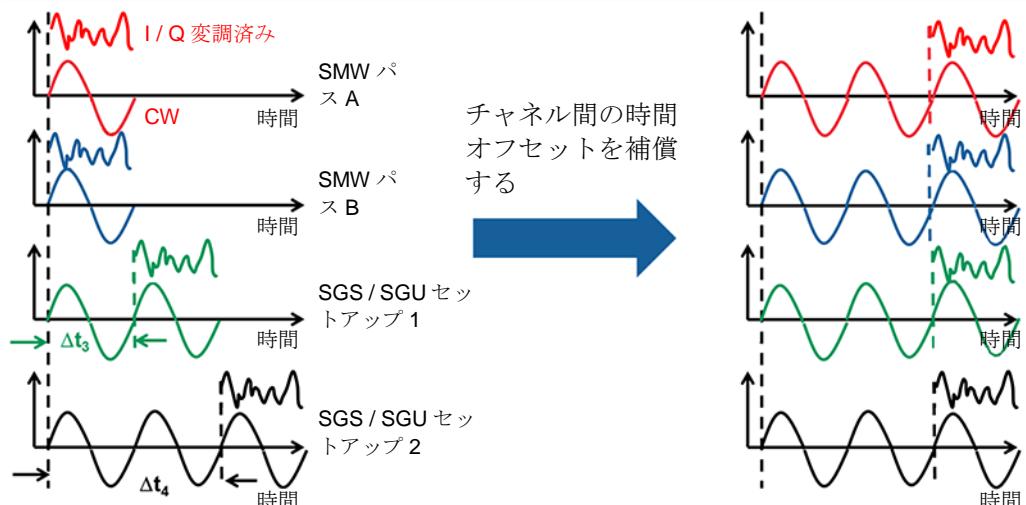
- 1) 複数のベースバンド・ソースによるセットアップ内のトリガー遅延。すべてのベースバンド信号が、単一の SMW によって生成される場合に、この問題は回避することができます。
- 2) 機器内部の信号伝搬遅延。例えば、異なる機器または異なるステップアップテネーターの位置での、異なるハードウェアアーキテクチャによって引き起こされます。

- 3) ケーブルによる機器内部の信号伝搬遅延。例えば、SMW と SGS および SGT などの外部機器との間にケーブルがある場合。くわえて、RF 出力から DUT までのケーブルが常にある場合。

セットアップ例：2 セットの SGS/SGU を備えた 1 台の SMW



この例には、カスケードされたベースバンドソースはありませんが、すべてのベースバンド信号は、SMW によって生成されています。つまり、ベースバンド同期は保証されますが（要因 1 は無関係です）、信号伝搬遅延については、まだ補償する必要があります。第 2 および第 3 の要因は、DUT（時間基準面）における個々の RF 信号の間に、ある程度の遅延 Δt を生じさせます。これらの遅延を計測して先頭の信号を故意に遅延させることにより、I/Q 変調された RF 信号を時間的に整列させることができます。



9 校正 - 方法

9.1 一般的な手順

校正は、手動または SCPI コマンドを使用することにより、リモートで行うことができます。特に校正を頻繁に繰り返す必要がある場合に、自動化が時間を節約するため、遠隔操作は、ほとんどのアプリケーションで有益です。

一般的なキャリブレーションの手順は以下のとおりです：

- ▶ 機器をウォーミングアップしてください（信号発生器、スペクトラムおよびネットワークアナライザー）。ウォームアップ時間は、最低でも 30 分です。より長いウォームアップ時間をお勧めいたします（ネットワークアナライザーの場合では数時間ほど）。
- ▶ DUT 接続用のケーブルを使用してください。校正にケーブルを含めることが不可欠です。
- ▶ ベースバンドを介して校正信号を生成します。（セクション 9.2 を参照してください）
- ▶ すべての信号発生器のアプリケーションで使用する RF 周波数を設定します。（セクション 6.5 を参照してください）
- ▶ すべての信号発生器の RF レベルを設定します。必要な RF レベルは、アプリケーションで使用することを意図した、希望する信号の波高率に依存します。この波高率がゼロとは異なる場合には、それに対応するより高い RF レベルを、校正のために使用する必要があります。（セクション 9.3 および注意のセクション 6.6 を参照してください）
- ▶ 計測された相対位相が、希望する値を持つようにベースバンド位相オフセットを調整します、例、 0° 。（セクション 7.2 を参照してください）
- ▶ 測定された RF 信号間の、相対的な遅延が DUT においてゼロになるように、パラメータ「I/Q Delay」を調整します。（セクション 7.3 を参照してください）（このステップは、CW 信号には必要ありません）。

9.2 校正信号の生成方法

希望の試験信号のタイプにより、必要な校正信号が決定されます。

- RF 信号が CW 信号の場合 → 推奨される校正信号は CW 信号になります（セクション 9.4 を参照してください）
- RF 信号が I/Q 信号の場合 → 推奨される校正信号は FM チャープ信号になります（セクション 9.5 を参照してください）

9.2.1 ベースバンドを経由して CW 信号を生成する方法

LO 結合の為、各 RF 搬送波に対して個別に位相をセットできるように、ベースバンドを介して CW 信号を生成しなければなりません。これらの（疑似） CW 信号は、I と Q の DC 信号を使用して生成することができます。

これを行うにはいくつかの方法があります：

- ▶ BPSK 変調およびデータソース "All 1"または "All 0"のカスタムデジタル変調機能を使用します。
- ▶ 1 波長波のみのマルチ波長波 CW (MCCW) 機能を使用します。
- ▶ DC 波形の ARB 発生器を使用します。波形は、以下の方法により、ARB メニューから簡単に生成することができます："Const I/Q"で "テスト信号を作成する"; "I Value"を 1 および "Q Value"を 0 にセットします； "Generate Signal RAM" を押します。

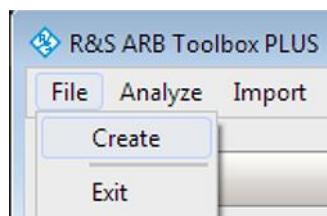


9.2.2 FM チャープ信号の生成方法

FM チャープ信号は、ARB Toolbox Plus ソフトウェア[4]を使用することで、わずか数ステップで生成することができます。結果としての波形ファイルは、このアプリケーションノートと一緒に提供されています。機器の ARB 発生器で再生させることができます。

ARB Toolbox Plus に必要なステップ：

- ▶ メニューリストから "File" → "Create" を選択します。



- ▶ 波形タイプとして "FM Sweep" および "Linear" を選択します。
- ▶ 最大 ARB クロックレート制限を、200 MHz (すなわち、SMW によってサポートされる最大サンプリングレート) にセットします。
- ▶ 以下の FM スイープセッティングを選択します：25 MHz の偏差、1ms のスイープ時間、0° の開始位相、360° の停止位相。
- ▶ "Auto Scaling"を選択します。
- ▶ 出力ファイルを選択し、"Run" ボタンを押します。

9.3 校正に使用する RF レベルの決定方法

セクション 9.2 において説明した校正信号は、0dB の波高率を持っています。

一般的には、信号の波高率は、ピーク包絡線電力 (PEP) レベルと信号の平均レベルとの dB 単位のレベル差のことです。この定義では、CW 信号の波高率は 0 dB となっています。純粋なチャープ信号もまた、0dB の波高率を持っています。LTE 信号のようなモバイル通信信号は、約 10dB の高い波高率を示します。

SMW は、PEP および信号の平均レベルを表示します。

CW 信号：

PEP **0.00** dBm Lev **0.00** dBm

LTE 信号：

PEP **10.22** dBm Lev **0.00** dBm

ユーザーが、希望する信号の平均レベルをセットします。SMW の内部レベルコントロールは、ユーザー設定の平均レベルのみならず、信号をクリップまたは劣化させないように、PEP レベルも考慮する必要があります。つまり、PEP レベルは、SMW 内部のレベリングのための「リファレンス」ということになります、例、ステップアップアッテネーターおよび可変アッテネーターのセッティング用です。

これについては、校正の RF レベルを選択する際に、考慮する必要があります。2 つのケースの間で、ひとつを区別する必要があります：

- 1) 希望の信号（アプリケーションで使用することを意図している）は、校正信号と同じ波高率、すなわち **0dB** を有しています。
この場合、特別な注意を払う必要はありません。校正は、後のアプリケーションで使用されるものと、同じ RF レベルで実行することができます。
例えば、通常では、パルス信号は最も高いパルストップパワーをリファレンスとして参照することが望ましいために、通常、**0dB** の波高率を有しています。²
- 2) 希望の信号（アプリケーションで使用することを意図している）は、校正信号と同じ波高率、すなわち **0dB** を有していません。
この場合、校正は、後のアプリケーションで使用されるものと、同じ RF レベルで実行する必要があります。
たとえば、希望波の波高率が **4 dB** であり、その平均レベルが **2 dBm** となりますと、PEP レベルは **2 dBm + 4 dB = 6 dBm** ということになります。校正は、**6 dBm** の RF レベルで実行する必要があります。

希望の信号の波高率は、例えば、SMW GUI 上のレベル表示（上の図で表しています）を確認し、PEP レベルから平均レベルを差し引くことによって簡単に確認することができます。

デジタル減衰を適用しても PEP レベルには影響しないため、ステップアップアッテネーターおよび可変アッテネーターには影響しないことに注意してください。よって、上記の PEP レベルの計算で適用される、デジタル減衰（セクション 7.4.2 を参照してください）を考慮する必要はありません。

9.4 CW 信号の位相アライメント

このセクションでは、RF 信号の相対位相を校正する方法について説明いたします。この情報は、CW 信号のみを生成するすべてのセットアップで有効です。

² パルス信号は、非常に長いパルスオフ時間を有しており、信号の平均電力を非常に低くすることができます。よって、通常では、パルス信号は、信号発生器上の RF レベルを設定するレファレンスとして、最も高いパルスのパルストップパワーを規定しています。この場合、SMW の平均レベルおよび PEP レベルは等しくなり、結果としての波高率は **0 dB** となります。

注意: I/Q 変調試験信号のみの使用を意図している方は、このセクションをスキップして、セクション 9.5 を参照してください。

校正信号は、希望の試験信号、すなわち CW 信号と同一です。

CW 信号の相対位相を計測するには、さまざまな方法があります：

- ベクトルネットワークアナライザーを使用する
- スペクトラムアナライザーを使用する
- オシロスコープを使用する

9.4.1 ベクトルネットワークアナライザーを使用する

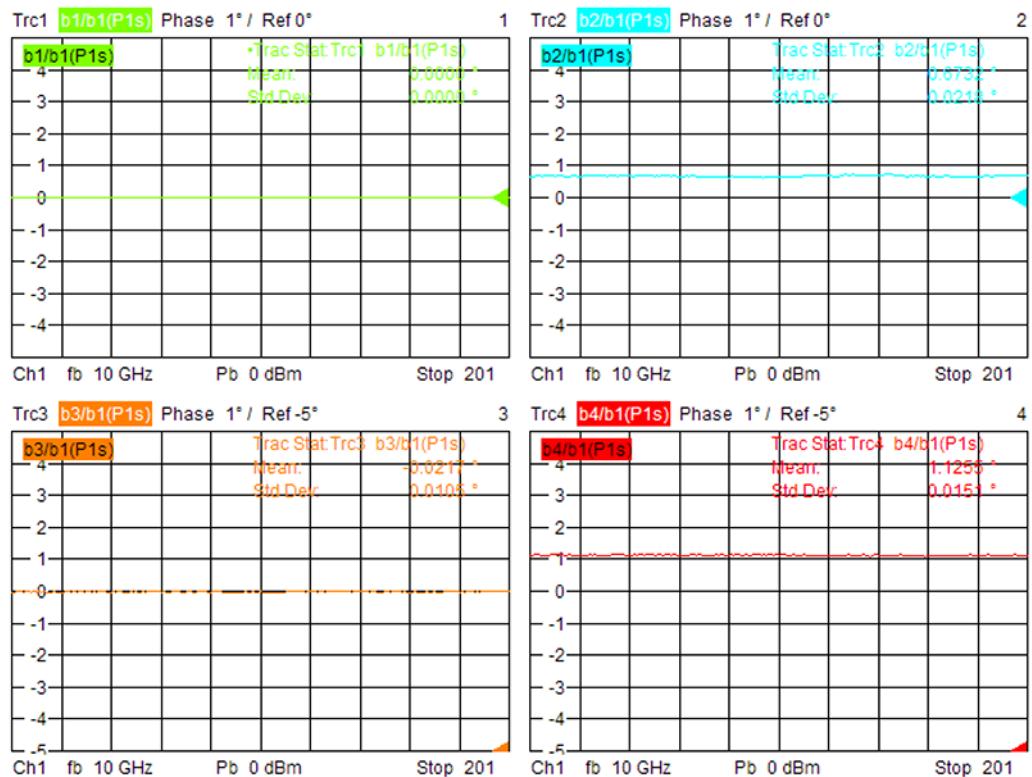
ベクトルネットワークアナライザーを使用して、位相アライメントを実行する、例えば、ZVA は、ユーザーにとっては便利であり、計測においては正確であります。よって、この方法を推奨いたします。

- ▶ 1つの RF 信号を、リファレンスチャネルとして使用します（ポート 1）。
- ▶ ポート 1 をレファレンスにして他のすべての RF 信号（ポート 2,3、...）を計測し、相対位相を決定します。

相対位相のみが計測されるので、ZVA の校正は省略することができます。

- ▶ CW モードを使用します（測定は 1 つの周波数のみで行われるためです）：SWEEP キー → スイープタイプ CW
- ▶ 内部ソースを無効にします（使用しないでください）：MODE キー → ポート設定
 - コラムを表示 → “Source - RF OFF” コラムを有効にします
 - 表のすべての RF ソースをオフにするには、ソースコラムのすべての RF OFF フィールドにチェックします
- （結果としまして、青い三角形の LED が、異なる ZVA ポートのみで点灯します）。
- ▶ トレースを設定します。（この例では、4 つのトレースが設定されています。）すべてのトレースに対して以下の手順を実行します：
 - トレースを選択するか、または新しいトレースを作成します：TRACE SELECT キー → トレースを追加
 - “Phase” 計測に切り替えます：FORMAT キー → フェーズ
- 相対位相計測をセットアップします：MEAS キー → 比率 → その他の比率：
 - トレース 1 : b1/b1
 - （ 0° 、このトレースはクロスチェックの目的にのみ使用されます）
 - トレース 2 : b2/b1
 - （ポート 2 とポート 1 の RF 信号間の相対位相）
 - トレース 3 : b3/b1
 - （ポート 3 とポート 1 の RF 信号間の相対位相）
 - トレース 4 : b4/b1
 - （ポート 4 とポート 1 の RF 信号間の相対位相）

次のスクリーンショットは、結果としての ZVA ディスプレイを表しています。



8/14/2014, 2:06 PM

長所 :

- 迅速で使いやすい計測方法
- 正確な結果 : ネットワークアナライザーは、位相を計測するための機器です。絶対位相もこの装置によって計測することができます。
- 一度に複数の RF 信号を校正することができます。4 ポート ZVA の最大 8 つの RF 信号により、例えば、MEAS レシーバと REF レシーバを使用されることにより、最大 7 つの相対位相を同時に測定することができます (詳細については、セクション 9.5.1 を参照してください)。

短所 :

- 一般的に、ネットワークアナライザーは、すべてのラボにおいて利用可能な標準的な試験機器というわけではなく、ハイエンドの機器は高価なものです

9.4.2 スペクトラムアナライザーを使用する

位相アライメントは、スペクトラムアナライザーと RF コンバイナとで実行することも可能です。この校正方法は、同一の RF 周波数およびレベルの 2 つの CW 信号が、 180° の位相差を有する場合、お互いを完全に相殺するという事実に基づいています。この場合、RF コンバイナによって追加されると、それらは破壊的に干渉します。つまり、コンバイナ出力における最小レベルは、 180° の相対位相を表しています。



この校正方法は、アプリケーションノート「オプション B90 を使用した、2 つの MIMO 信号ソースの位相調整」（1GP67）[3]にて詳しく説明されています。

長所 :

- スペクトラムアナライザーは、ラボで広く使用されていますが、ミッドレンジまたはハイエンドの機器でも大概において使用可能です
- -80 dBm 以下の RF レベルに適しています（スペクトラムアナライザーの感度によります）

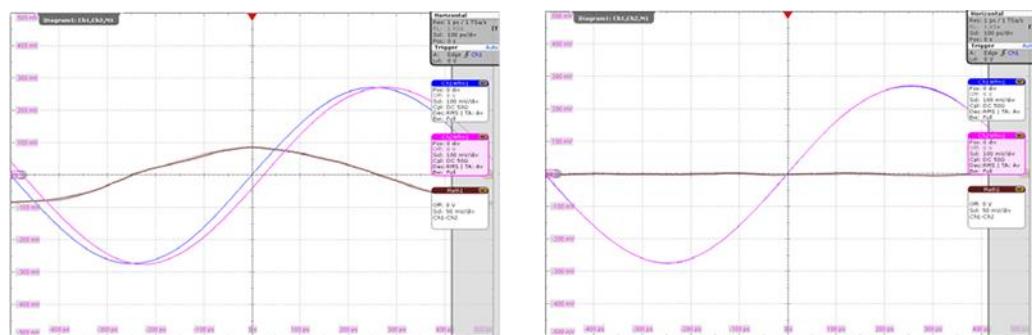
短所 :

- 一度に一つの相対位相しか校正することができません。より多くの RF 搬送波に対しては、連続した試験が必要になります。
- すべての RF 搬送波が、同じレベルである必要があります（レベル校正が必要です）。校正後、搬送波レベルは、異なる搬送波レベルを達成するために、デジタル減衰によってのみ変更することができます。

9.4.3 オシロスコープの使用

オシロスコープによって位相アライメントを実行することは簡単ですが、いくつかの面で制限があります（下記を参照してください）。

- ▶ RF 信号をオシロスコープ入力ポートに接続します（ch1、ch2、...）。
- ▶ 正弦曲線 対 時間を表示し、水平スケールを調整します。
- ▶ 任意で、2 つの信号の差異をの例を示す数学的トレースを追加します（例、ch1～ch2）。



- ▶ 正弦波の振幅が、オシロスコープのディスプレイ上で同じになるように、各チャネルの垂直スケールを調整します。
- ▶ 正弦曲線を整列させるには、SMW の位相オフセットを調整します。相対位相を 0° にします（計測の不確実性を加味します）。

長所 :

- オシロスコープは、ラボにおいてはとても一般的ですが、ミッドレンジまたはハイエンドの機器でも大概において使用可能です
- 簡単なセットアップ

短所 :

- 限定的な位相分解能。一般的には、位相は、約 1° の分解能で調整することができます。
- 高い RF 周波数には適していません（オシロスコープのクラスおよび仕様に依存します）
- 低 RF レベルには適していません（例、-30 dBm 以下）

9.5 I/Q 変調信号の位相と時間の調整

このセクションでは、RF 信号の相対位相を校正する方法および RF 信号間の遅延を補正する方法について説明いたします。この情報は、すべてのセットアップで有効です。

注意 : CW 試験信号のみの使用を意図している方は、このセクションをスキップして、セクション 9.4 を参照してください。

個々の RF チャンネルの相対位相および遅延を測定するために推奨される方法は、ベクトルネットワークアナライザ（VNA）を使用する方法です。

校正信号 :

校正信号は、このアプリケーションノートで提供されている FM チャープ信号のことです。

FM チャープセッティング :

25 MHz の偏差 → スイープ周波数スパン f_{span} は 50 MHz

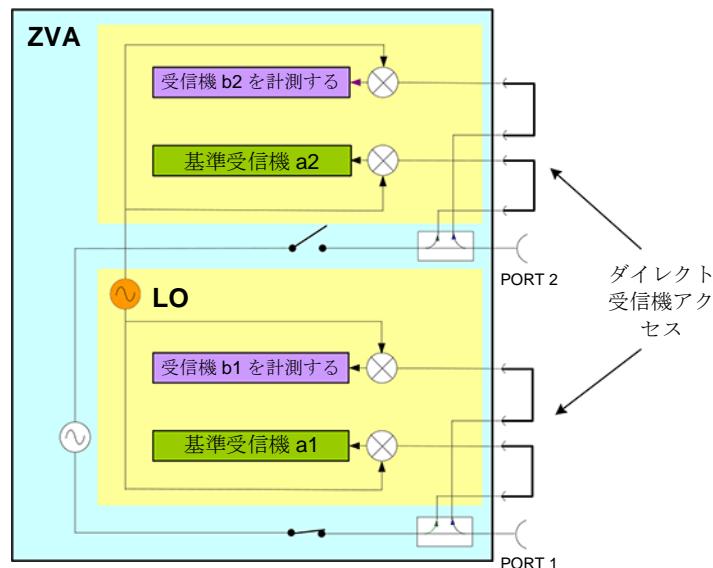
1 ms スイープ時間、パルスなし → スイープ繰り返し周波数 f_{rep} は 1 kHz

校正信号の f_{span} は、後ほどアプリケーションで使用する希望信号の信号帯域幅と同じである必要はありません。つまり、後の信号帯域幅（小さくても大きくても構いません）にかかわらず、50 MHz の f_{span} を校正に使用することができます（ZVA を使用して）。

9.5.1 VNA に関する基本情報

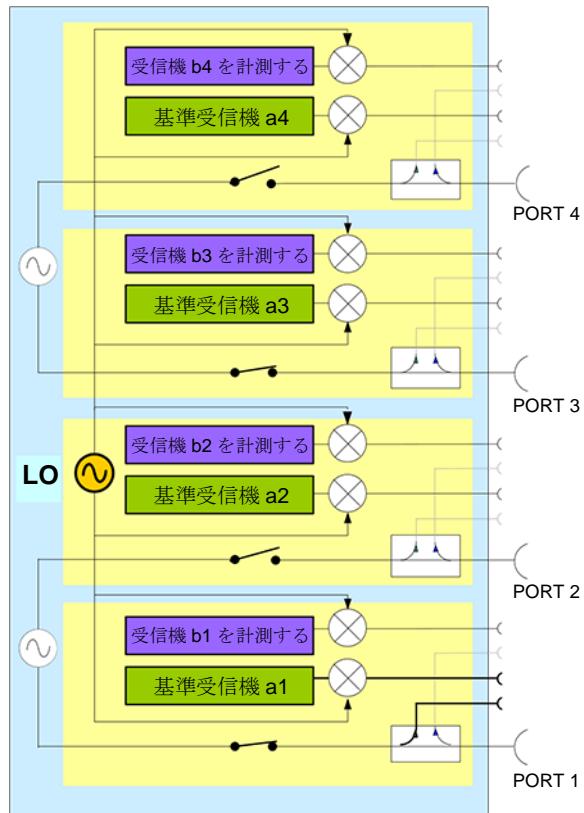
9.5.1.1 VNA のブロック図

VNA は、S パラメータを計測するためだけでなく、複数の受信機システムとしても使用することができます。共通の局部発振器を共有する機器および基準受信機の各試験ポートには、2 つの受信器が備わっています。



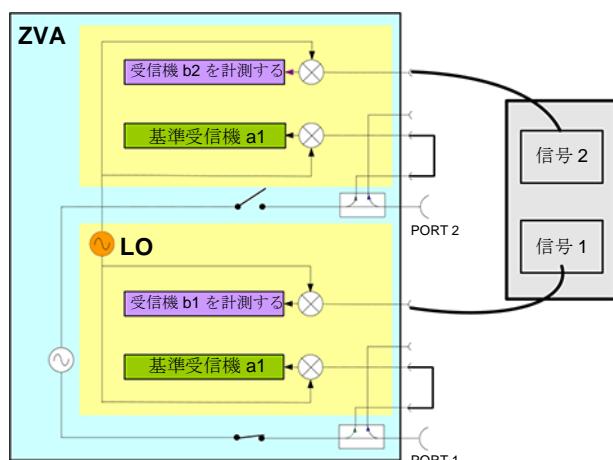
ダイレクト受信機アクセスを備えた、VNA のブロック図 (2 ポート R&S®ZVA、ソースフープは表示されません)

ポート 1 およびポート 2 に送られた 2 つの信号は、計測受信機 b1 および b2 によって検出され、その複合比は、大きさおよび位相に照らして解析されます。ZVA ファミリーの VNA は、オプションとして、ダイレクト受信機アクセスを提供しています (オプション R & S®ZVA-B16)。ダイレクト受信機は、方向性結合器からの計測信号およびリファレンス信号を、ループを介してフロントパネルへ送り、受信機に戻します。VNA のすべての受信機にアクセスするために、これらのループは、削除することができます。よって、2 ポート VNA は、4 つの信号を解析するために、4 つの受信機を使用することができます。よって、4 ポート ZVA は、8 つの信号を解析するために、8 つの受信機を備えています。6 ポート ZVT20 または 8 ポート ZVT8 は、ZVA と同様の機能を持っており、12 resp. 16 の信号を解析するために、それぞれ 12resp. 16 の受信機を備えています。



オープンダイレクトアクセスループ付き、ソーススープなしの4ポートR&S®ZVAのブロック図

9.5.1.2 2つの信号間の相対位相の計測

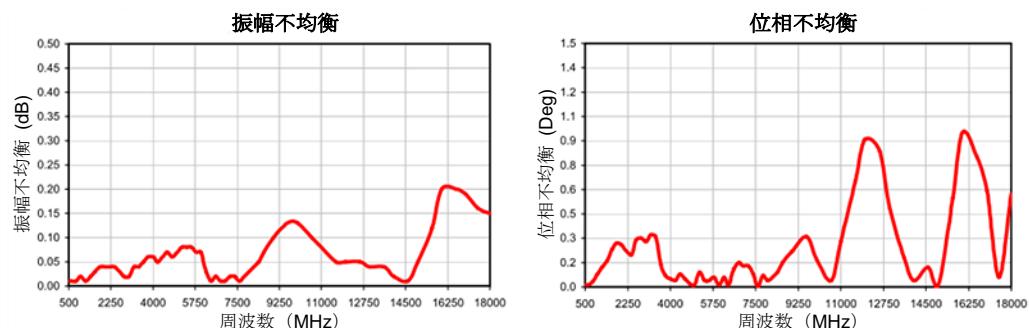


2つの信号間の位相計測

両方の信号は、ZVAのダイレクト受信機入力に接続されています。b2/b1の比率を計測すると、振幅および位相に応じて、両方のキャリア間の関係が表示されます。信号ソースとVNAの間に、リファレンス周波数を接続することを推奨いたします。それ以外では、IF帯域幅は、周波数の不確実性の幅と同じ幅で選択する必要があります。計測中に周波数がわずかに変化するかという事は、重要ではありません。それらは、ZVAの計測帯域幅によって定義されている受信機ウィンドウ内に留まらなければならないだけです。トレースノイズが高すぎる場合には、スムージングまたは平均化またはその両方を適用してください。DUTの周波数が十分に正確ではなく、共通のリファレンスが使用されていない場合、IF帯域幅の減少に失敗する場合があります。

9.5.2 VNA の校正

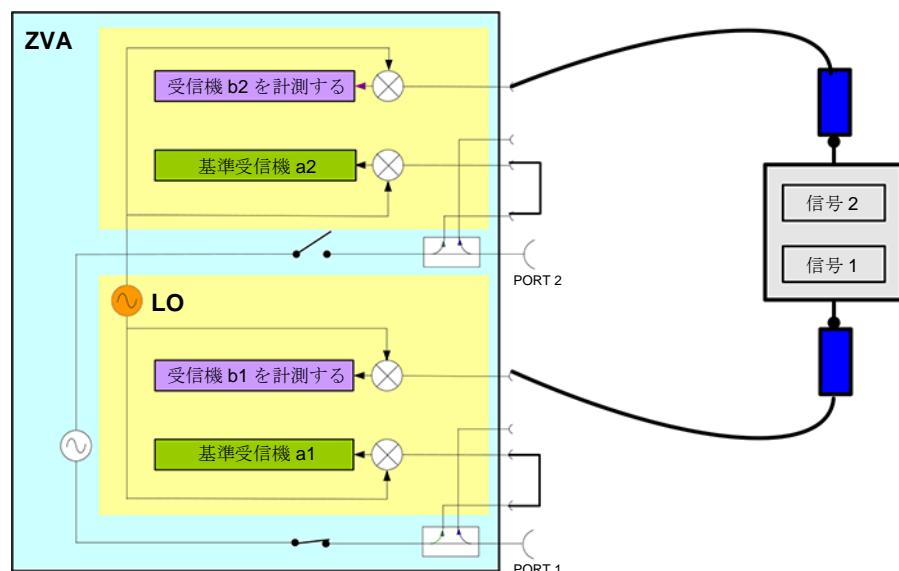
VNA の校正は、位およびタイムアライメントの前提条件として必要です。VNA の校正は、計測開始時に一度だけ実行しなければならず、そのまま機器のプリセットが実行されるまで保持されます。校正の基準として、調和した対称パワースプリッタが推奨されます、例、Minicircuits のパワースプリッタ ZFRSC-183 は、振幅および位相の不均衡がごくわずかです。



Minicircuits のパワースプリッタ ZFRSC-183 の、位相および振幅の不均衡

より高い精度の要求に対しては、パワースプリッタの不均衡をネットワークアナライザで計測し、さらなる補正に使用することができます。次のアプリケーションでは、位相の不均衡を無視することができます。

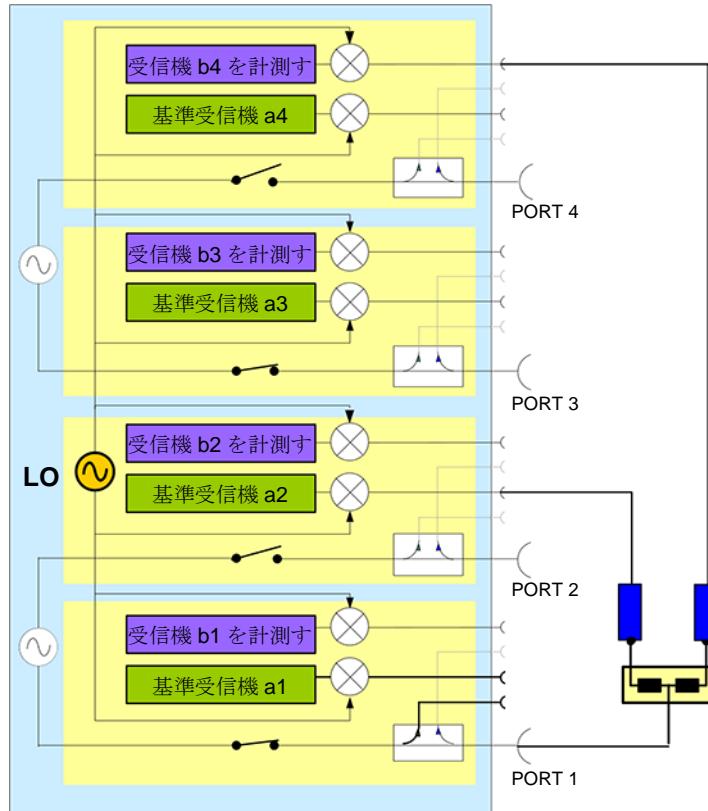
追加のエラーは、DUT、VNA、校正に使用されるパワースプリッタの有限のポートの一致によって発生します。この試験ポートの一致のエラーを低減するために、調和したアッテネーター（例、Minicircuits の BW-S10W2）を、ケーブルの端に追加することによって改善することができます。試験ケーブルのレセプタクル端に、25 dB のポートの一致があると仮定します。アッテネーターと DUT の 15 dB のポートのマッチングにより、位相誤差が 0.6° 以下になります。



アッテネーターの試験ポートのマッチングの改善

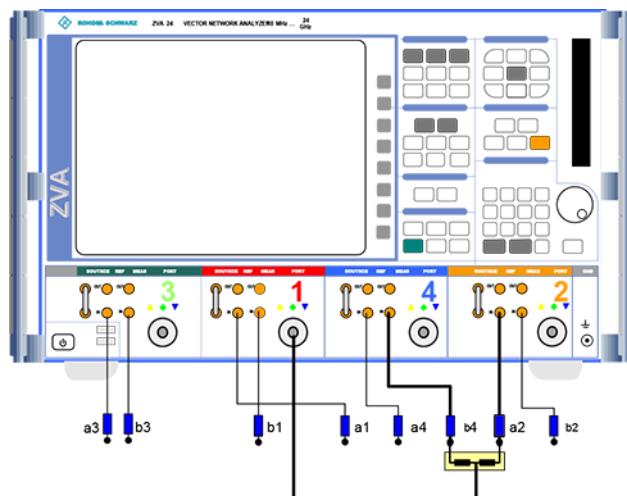
セットアップ：

校正のために、パワースプリッタは VNA のソースに接続され、両方の他のポートは、VNA の受信機入力に接続されます。



パワースプリッタを使用した VNA の校正のセットアップ

トレース数学 (Data/Mem) を使用すると、試験セットアップの不均衡が修正されます (第 9.4.4.2 項を参照してください)。ケーブルおよびアッテネーターの影響も取り除かれます。これらのアッテネーターの両端にあるケーブルは、ネットワークアナライザー (計測および校正面) に接続されたままにされ、RF 信号間の相対位相を計測するために使用されます。パワースプリッタの振幅不均衡は無視できるので (<0.2 dB)、両方の信号の振幅の偏差についても、高精度で計測されます。このセットアップは、CW 計測および周波数スイープ計測に使用することができます。

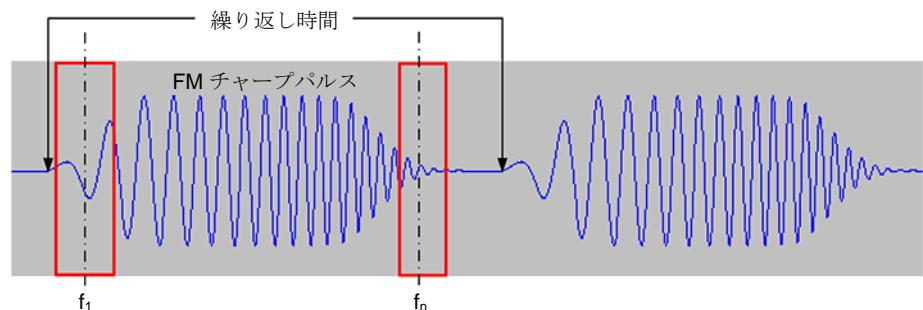


パワースプリッタを使用した VNA の校正のセットアップ

計測点を変更する場合には、VNA の校正を繰り返す必要があります。トレース数学は、使用されたメモリトレースの計測点に関連しています。よって、校正に使用されるメモリトレースは、同じ計測点グリッドを持っていなければなりません。

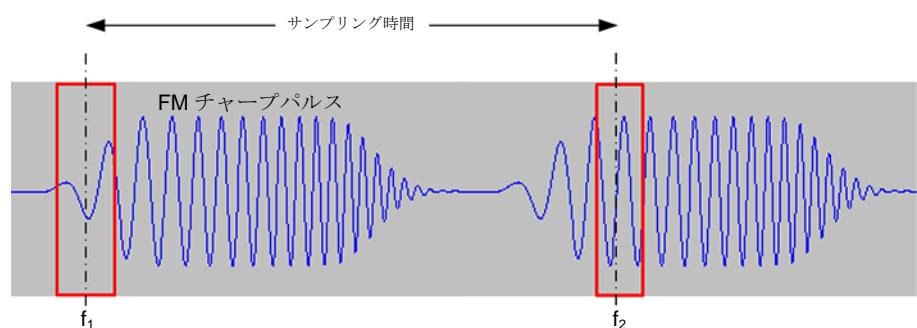
9.5.3 2つのチャープ信号間の位相の計測

計測はチャープ信号によって行われます。チャープ信号間の位相を解析するために、ネットワークアナライザの受信機は、希望の周波数スパンをスイープしなければなりません。計測を実行するには、チャープのスイープ繰り返し周波数 f_{rep} および周波数スパン f_{span} を知らなければなりません。 f_{span} は、チャープの開始周波数 f_1 から、停止周波数 f_n までの周波数範囲となっています。 f_{rep} は、1/繰り返し時間と等しくなっています。



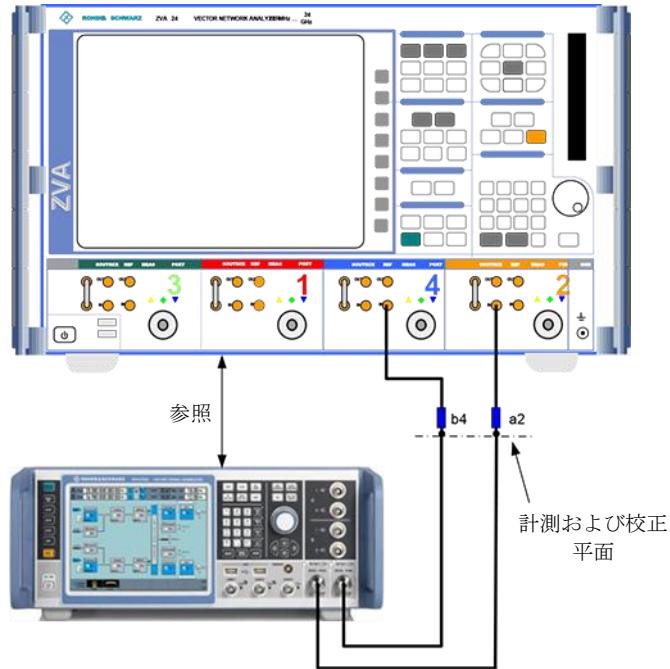
FM チャープパルスの例。

ネットワークアナライザの受信機のサンプリング時間は、受信機が特定の周波数で信号を検出できることを確実にするために、少なくともチャープパルスの周期と、同じ長さでなければなりません。従いまして、チャープ信号のパルス幅と等しいかまたはそれより長いサンプリング時間を有する IF フィルタを選択しなければなりません。経験則として、サンプリング時間は約 $1/IFBw$ です ($IFBw$ は計測帯域幅です)。ZVA の測定帯域幅である、 $f_{rep}/10$ を使用することをお勧めいたします。各チャープパルスにおいては、1つの周波数点のみしか計測することができません。



チャープパルスのデータサンプリング、ここでは、第 1 のチャープパルス f_1 が計測され、第 2 のチャープパルス f_2 が計測されていることが分かります。これは、すべての周波数がカバーされるまで続きます。

2つのチャープ信号の相対位相を計測するセットアップを以下に表します。



2つのチャープ信号間の位相偏差を計測するセットアップ

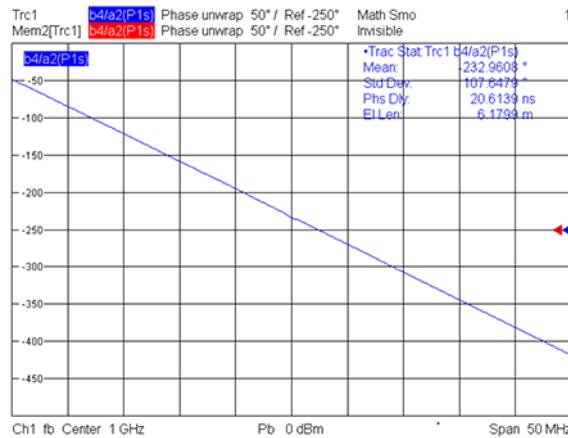
使用される受信機間の比率、例、 $b4/a2$ は、2つのRF信号間の振幅および位相による関係を表しています。一般的に、RF信号は、一定の位相オフセット（異なる開始位相に起因した）および周波数に対して線形に増加または減少する位相偏差（信号発生器の内部および/または外部の信号パスの異なる長さまたは遅延時間によって発生します）を有しています。非分散パス（このアプリケーションで使用されている同軸ケーブルなど）の位相および周波数の関係は次のとおりです：

$$\varphi(f) = -360^\circ \cdot f \cdot \tau$$

ここで、 τ は、パスの遅延時間になります。ケーブルの場合、遅延時間は、 ϵ ケーブル内部の誘電体の誘電率および光の速度 c を介して、機械的長さ L_{mech} に直接関係しています。

$$\tau = \frac{L_{mech} \cdot \sqrt{\epsilon}}{c}$$

（光の速度は、 $c \approx 2.9979/10^8 \text{m/s} \approx 30 \text{cm/ns} \approx 1 \text{ft/ns}$ であるので、1 ns 以内に光が移動するおよその距離である「1つの光の足」として、簡単に覚えることができます）。よって、信号パスの電気的長さの差は、次の図で表されているように、周波数の増加に伴い、負または正の位相の勾配を発生させます。



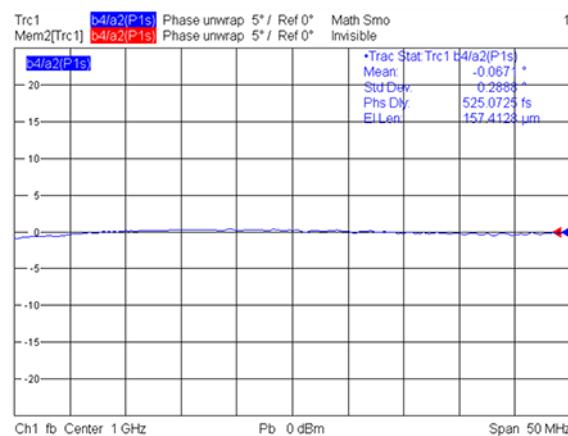
信号発生器の位相およびタイムアライメント前の、2つのチャーブ信号間の線形位相偏差

トレース統計関数の2つの計測パラメータ：平均値および位相遅延は、このアプリケーションでは特に重要です。

- 平均値は、開始位相の差、すなわちRF信号の相対位相を表します。このパラメータは、信号ソースの相対位相を、任意の希望の値に調整するために使用されます。（例、0°にします）。
- 位相遅延は、2つの信号バスの電気的長さの差を表します。このパラメータは、信号ソースのタイミングを調整するために使用されます。

例：

上の図において、トレースは勾配を持ち、およそ-230°の中心周波数を横切っています。トレース統計値は、平均値-232.96°および20.6nsの位相遅延を表しています。信号発生器の位相を調整することによって、計測された相対位相などが0°になるように、トレースを「シフト」させることができます。つまり、平均値は0°であり、交差は0°ということになります。次のステップでは、信号発生器の遅延を調整することにより、トレースの勾配をなくすことができるようになります。つまり、計測された位相遅延が、ピコ秒またはフェムト秒のレンジにあり、トレースがフラットであることを意味しています。次の図では、位相およびタイムアライメント後の結果を表しています。



信号発生器の位相およびタイムアライメント後の2つのチャーブ信号間の位相偏差

この手法を使用することにより、信号ソースおよび外部配線の位相偏差が補正されます。よって、同じ電気長を持つ高価なケーブル（いわゆる位相整合ケーブル）を持つ必要はありません。位相安定ケーブルのみが必要です。

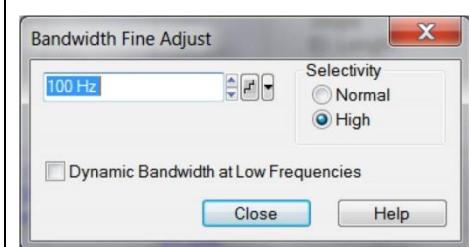
同じインデックスの比率が使用されている場合では重要になります：

同じ指数を有する比率、例えば、 $a1/b1$ は、通常では反射計測値になります。つまり、トレース統計関数 "Phase Delay/EL Length" は、位相遅延の半分を表しています。つまり、この比率の計測値を信号発生器に入力するためには、2の係数を掛けなければなりません。

9.5.4 位相およびタイムアライメントのステップバイステップガイド

一般的に、校正を行う前には、すべての機器をウォームアップする必要があります。

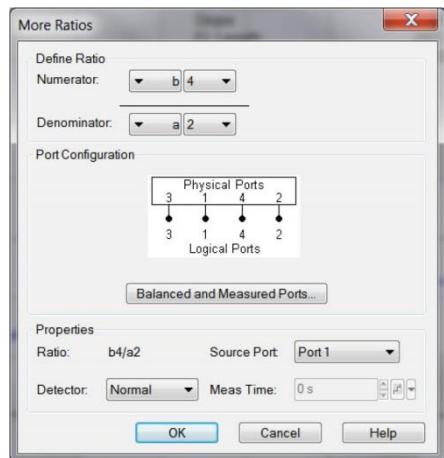
9.5.4.1 ステップ 1 - 一般的な VNA セッティング

<p>信号発生器からのケーブルを、ZVA の REF a2 および MEAS b4 入力に接続します。</p> <p>信号発生器において、チャーブ信号をアクティブにします。ダイレクト受信機入力のパワーレベルは、受信機の圧縮を避けるために、-20 dBm 以下にしなければなりません。必要に応じてアッテネーターを追加してください。</p> <p>信号発生器の 10 MHz の基準周波数信号を、ZVA に接続します。ZVA を外部基準周波数に切り替えます。</p>	<p>システム - 外部基準</p>
<p>チャーブ信号の周波数範囲を選択します。この例においては、チャーブは 50 MHz のスパンを持っています (このドキュメントでは f_{span} と呼ばれています)。RF 周波数は 1 GHz とします。</p>	<p>チャネル - 刺激 センター 1 GHz スパン 50 MHz</p>
<p>10/f_{rep} またはそれ以下の、適切な計測帯域幅を選択します。この例においては 100 Hz です。</p>	<p>チャネル - Pow BW Avg - MEAS BANDWIDTH: 100 Hz</p> <p>微調整 : 選択性の高いフィルターを選択します</p> 

適切な比率を選択します、この場合は、**b4/a2 (P1)** を選択し、フェーズフォーマットを選択します。
Src ポート 1 とは、発生器がポート 1 を駆動していることを意味しています。

トレース - 計測 - 比率 - その他の比率 - **b4/a2**

ソースポート：ポート 1

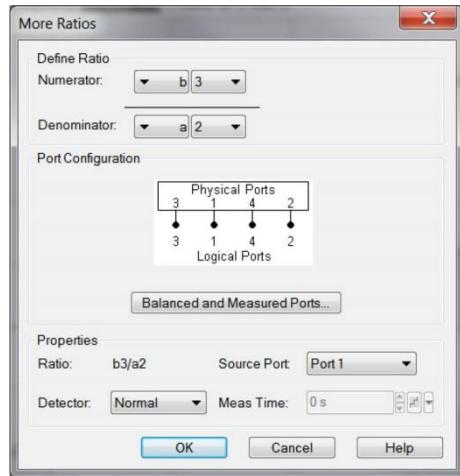


トレース - フォーマット - フェーズアンラップ

必要に応じて、ある限りのトレースおよび比率、例えば、**b3/a2**、**b1/a2** を追加します。各比率のソースポートとして、ポート 1 を選択します。

この例では、**a2** に関してすべての位相が計測されますので、**a2** をリファレンスとして使用します。よって、各比率に対しての分母として、**a2** を使用します。

トレース - 計測 - 比率 - その他の比率
ソースポート：ポート 1



トレース - フォーマット - フェーズアンラップ

9.5.4.2 ステップ 2 - VNA の校正

VNA の校正に関する一般的な情報については、セクション 9.5.2 を参照してください。

ZVA のポート 1 に、パワースプリッタを接続します。試験ポートケーブルを、受信機（例、**a2** および **b4**）のアッテネーターと一緒に、直接にパワースプリッタに接続します。

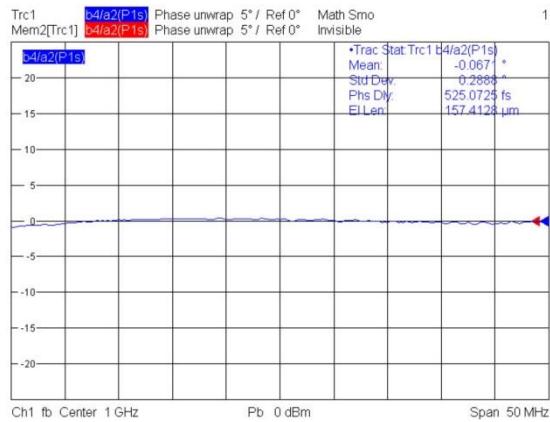
<p>トレース 1、例えば、(b4/a2) を有効にするには、トレース 1 の図をクリックし、トレースの計算を適用します</p>	<p>トレース - トレース機能 - データ->メモリ MATH =DATA//MEM SHOW MEM: オフ</p>
<p>他のすべての比率に校正を適用します。この例では、a2 受信機はリファレンスとして使用されているため、校正中でも常に、パワースプリッタに接続されたままになっています。</p> <p>校正を別の比率、例えば、b3/a2 に適用するには、パワースプリッタを REF a2 および MEAS b3 に接続します。トレース 2、例えば、(b3/a2) を有効にするには、トレース 2 の図をクリックし、トレースの計算を適用します</p> <p>すべてのトレースが、結果として 0° を表します</p>	<p>トレース - トレース機能 - データ->メモリ MATH =DATA//MEM SHOW MEM: オフ</p>

9.5.4.3 ステップ 3 - チャープ信号間の位相の計測

背景情報については、セクション 9.5.3 を参照してください。

すべての受信機に信号を送信します																	
最初の比率、例、 $b4/a2$ を有効にするには、マウスでトレース線をクリックしてください。																	
<p>位相アライメント：</p> <p>位相の平均値を計測するために、トレース統計をアクティブにします。平均値は、2つの信号間の一定の位相オフセットを表します。この値を読み取って、SMW 上に定義された相対位相をセットします、例、相対位相を 0° に調整します。</p> <p>中心周波数にスパイクが現れる場合には、SMW の障害機能を使用して、このスパイクを取り除くことができます。I および Q オフセットをセッティングすることにより、観測された搬送波漏れを取り除いて、平均値に影響を与えないようにすることができます。</p>	<p>Trc1 Mem2(Trc1) b4/a2(P1s) Phase unwrap 50° / Ref -250° b4/a2(P1s) Phase unwrap 50° / Ref -250° Math Smo Invisible</p> <table border="1"> <tr><td>•Trac Stat: Trc1 b4/a2(P1s)</td><td>232.9605°</td></tr> <tr><td>Mean:</td><td>232.9605°</td></tr> <tr><td>Std Dev:</td><td>107.6471°</td></tr> <tr><td>Phs Dly:</td><td>20.6139 ns</td></tr> <tr><td>EI Len:</td><td>6.1799 m</td></tr> </table> <p>Ch1 fb Center 1 GHz Pb 0 dBm Span 50 MHz</p>	•Trac Stat: Trc1 b4/a2(P1s)	232.9605°	Mean:	232.9605°	Std Dev:	107.6471°	Phs Dly:	20.6139 ns	EI Len:	6.1799 m						
•Trac Stat: Trc1 b4/a2(P1s)	232.9605°																
Mean:	232.9605°																
Std Dev:	107.6471°																
Phs Dly:	20.6139 ns																
EI Len:	6.1799 m																
<p>タイムアライメント：</p> <p>位相遅延および電気長を計測するために、トレース統計をアクティブにします。</p> <p>位相遅延 (Phs Dly) が表示されます。この値を読み取り、SMW の時間遅延をキャンセルします。</p>	<p>トレース - トレース機能 - トレース統計 - Mean/Std Dev</p> <table border="1"> <tr><td>•Trac Stat:</td><td>Trc1 b2/a1(P1s)</td></tr> <tr><td>Mean:</td><td>10.2896°</td></tr> <tr><td>Std Dev:</td><td>0.2957°</td></tr> <tr><td>Phs Dly:</td><td>14.8153 ps</td></tr> <tr><td>EI Len:</td><td>4.4415 mm</td></tr> </table> <p>トレース - トレース機能 - トレース統計 - 位相遅延/EI 長</p> <table border="1"> <tr><td>•Trac Stat:</td><td>Trc1 b4/a2(P1s)</td></tr> <tr><td>Phs Dly:</td><td>-1.9212 ns</td></tr> <tr><td>EI Len:</td><td>-575.9485 mm</td></tr> </table>	•Trac Stat:	Trc1 b2/a1(P1s)	Mean:	10.2896°	Std Dev:	0.2957°	Phs Dly:	14.8153 ps	EI Len:	4.4415 mm	•Trac Stat:	Trc1 b4/a2(P1s)	Phs Dly:	-1.9212 ns	EI Len:	-575.9485 mm
•Trac Stat:	Trc1 b2/a1(P1s)																
Mean:	10.2896°																
Std Dev:	0.2957°																
Phs Dly:	14.8153 ps																
EI Len:	4.4415 mm																
•Trac Stat:	Trc1 b4/a2(P1s)																
Phs Dly:	-1.9212 ns																
EI Len:	-575.9485 mm																

アライメントの後、VNA の計測位相は、周波数レンジ全体にわたって一定であり（タイムアライメントのため）、次の図にも表しているように、 0° に調整されます（位相アライメントのため）。



位相およびタイムアライメントの最終結果

この例において、タイムアライメントは、1ps 未満の残留位相遅延において非常に突出しています。

10 校正 - 繰り返すタイミング

10.1 どのタイミングで校正を繰り返しますか？

- 以下の場合において、校正を繰り返します：

校正を繰り返さなければなりません	
もし	理由：
ケーブルが変更されました	ケーブル（長さ）は、位相に強い影響を与えます
RF 周波数が変更されました	RF 周波数の変更は、位相を変化させる場合があります。これは、不可避な現象です
RF レベルは、"Auto"のアッテネーター モードにおいて変更されます	ステップアッテネーターの電気長は、位相に強い影響を与え、それを変化させる場合があります
機器のプリセットが実行されます (* RST)	校正関連の設定が失われます
環境条件は、例、周囲温度が変化した場合には、著しく変化します。	温度変化は、ケーブル/ラインの電気的長さの変化により、位相に強い影響を及ぼします
機器が再起動または電源が再度入れられました	ベースバンド信号は、DAC 出力において新たに同期され、これにより相対的な時間シフトへと繋がります

ユーザーは、次の場合は、校正を繰り返す必要はありません：

校正が有効なままの場合	
もし	そうであるとしたら
RF レベルは、"Fixed"のアッテネーター モードにおいて変更されます	小さな位相および遅延の変化は、除外することができません
RF レベルは、デジタル減衰によって変更されます	減衰が大きすぎると信号品質が低下してしまいます（僅かな SN 比） 高い減衰が必要な場合には、ステップアッテネーターを使用して、校正を繰り返すことが望ましいです
ベースバンド信号が、例えば、ある ARB 信号から、同じ波高率を持つ、他の ARB 信号へ変更されます	ベースバンドの同期（ゼロトリガーの不確実性を伴う）が、保証されなければなりません 同時に使用されるすべてのベースバンド信号は、共通のサンプルレートを持っていなければなりません
ベースバンド信号が、例えば、ある ARB 信号から、"Fixed"のアッテネーター モードにおいて、異なる波高率を持つ、他の ARB 信号へ変更されます	ベースバンドの同期（ゼロトリガーの不確実性を伴う）が、保証されなければなりません 同時に使用されるすべてのベースバンド信号は、共通のサンプルレートを持っていなければなりません 小さな位相および遅延の変化は、除外することができません

10.2 再現性

レベル

RF レベルが変更されているというシナリオを、ユーザーが持っていると仮定します。くわえて、RF レベルは、デジタル減衰（大きなレベル差に起因している）によってではなく、ステップアップテネーターを介してセットされます。

例：

レベル 1 → 初期校正が必要です (cal 1)

レベル 2 → 新しい校正が必要です (cal 2)

レベル 1 → 位相オフセットおよび cal 1 で決定された遅延を再利用することができます
レベル 2 → 位相オフセットおよび cal 2 で決定された遅延を再利用することができます

ステップアップテネーターの位置が、レベル変化において再現可能であるため、再現性が持たされています。

周波数

RF 周波数が変更されているというシナリオを、ユーザーが持っていると仮定します。

例：

周波数 1 → 初期校正が必要です (cal 1)

周波数 2 → 新しい校正が必要です (cal 2)

周波数 1 → 位相オフセットおよび cal 1 で決定された遅延を再利用することができます
周波数 2 → 位相オフセットおよび cal 2 で決定された遅延を再利用することができます

再現性は、LO 結合で与えられます。この位相は、周波数変化において、確実に再現可能であります。

REF 結合

いろいろと言われていますが、リファレンス周波数結合を使用すると、再現性は保証されません。単一のシンセサイザのみが使用される LO 結合とは対照的に、リファレンス結合が適用されるときには、複数のシンセサイザが使用されます。シンセサイザのデザイン（フィルター、VCO など）により、周波数およびレベルの変化において、位相は確実には再現することができません。

11 位相安定性の計測結果

このセクションでは、経時的な相対位相の安定性を実証するための、いくつかの計測結果をご紹介します。

ZVA を使用して、位相計測値を得ています。セクション 9.4.1 で説明されているように、ZVA は構成されています。CW 信号を RF 試験信号として、すべての計測を実施しました。ZVA は、発電機からの 10 MHz の基準信号を使用しています（例、SMW から）。

相対的な位相にくわえて、温度の変化 および 位相の変動を相關させることができますように、温度もキャプチャされています（機器から読み取られています）。

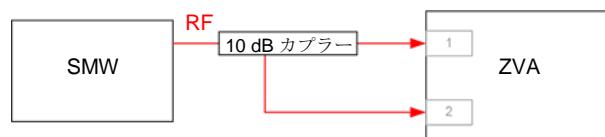
このアプリケーションノートに示されている結果は、より包括的な一連の試験のただのいくつかの計測の例となっています。興味のおありの方は、Rohde & Schwarz サポートセンター（最後のページを参照してください）を利用して、より多くの計測を依頼することができます。

一連の試験での環境条件は、最悪ではなかったものの、意図的に、理想的ともいえないものでした。セットアップは、通常の実験台の上に配置されました。部屋は、特に温度制御がされていませんでした。しかしながら、気温はほぼ一定に保たれるように配慮されました。試験は、室温で実施されました（これは、外部配線にとって理想的な条件ではありませんでしたが、ユーザーにとって最も現実的でした）。振動およびその他の邪魔は避けられました。

11.1 予備試験

次の予備試験は、計測（機器、RF ケーブル、環境条件を考慮している）および意味のあるデータを提供する中における、その計測のレンジについての感触を得る為に実施されました。

SMW は、単一の CW 試験信号を生成し、これは分割されて、ZVA の 2 つのポートに送信されました。ポート 1 およびポート 2 との間の相対位相が計測されました。



20 GHz の RF 周波数においては、ほぼ一定の温度での計測の変動が、

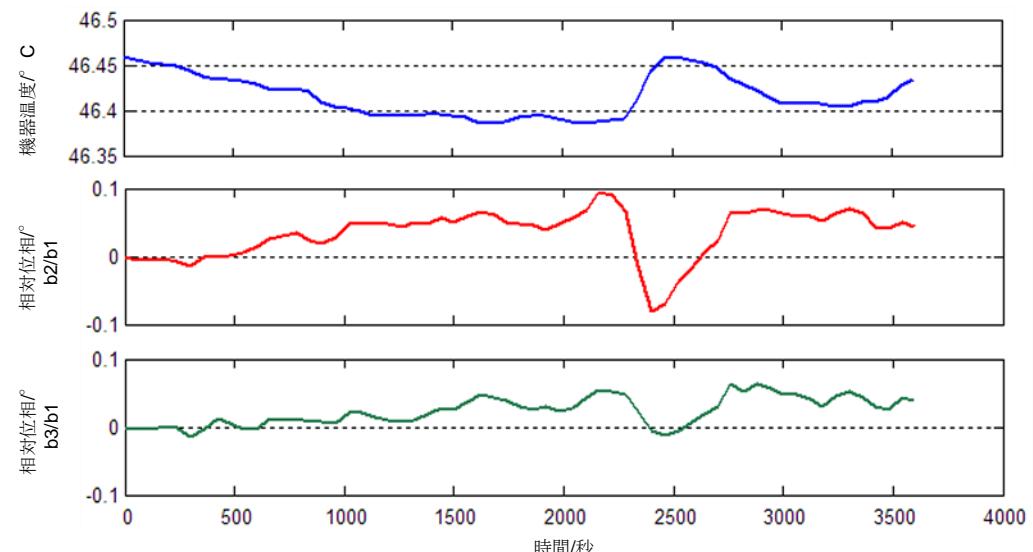
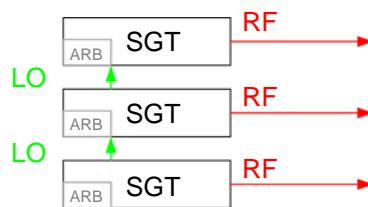
- 1 時間以内で $<0.3^\circ$ 、
- 0.5° C の温度変化がある場合での計測の変動が、11 時間以内では $<0.45^\circ$ 見受けられました。

40 GHz の RF 周波数において、計測の変動は、一定温度で 1 時間以内で $<0.5^\circ$ に増加しました。

次のセクションで表している計測結果を見る際には、計測のバリエーションを覚えておく必要があります。このバリエーションでは、データは修正されません。

11.2 2 GHz での実行

RF 周波数 : 2 GHz
チャネル数 : 3
LO 結合 : はい
温度 : 一定、室温
(プロットは機器の内部温度を表しています)
上に示されているデータ : 1 時間
セットアップ : 3x SGT

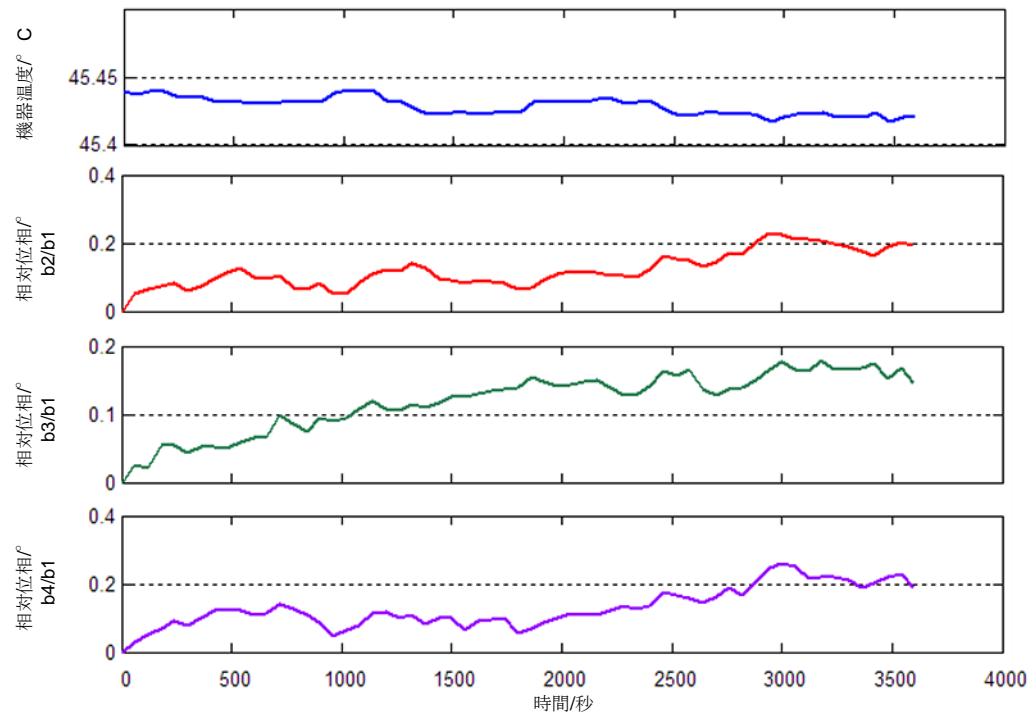
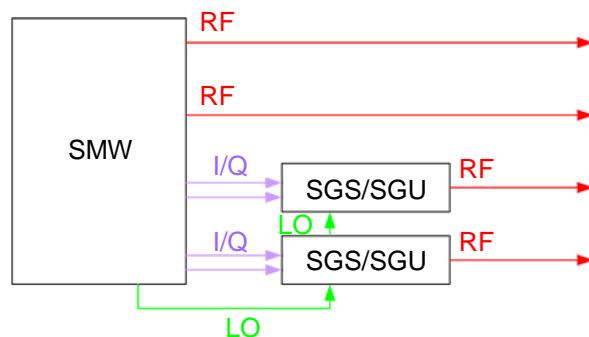


相対位相の計測ドリフト :
b2/b1 : < 0.2° (SGT/SGT)
b3/b1 : < 0.1° (SGT/SGT)

わずかな温度変化 (0.1°C未満) さえも、上記のデータ (2500s での温度バンプ) に見られるように、相対的な位相に影響することに注意してください。

11.3 10 GHz での実行

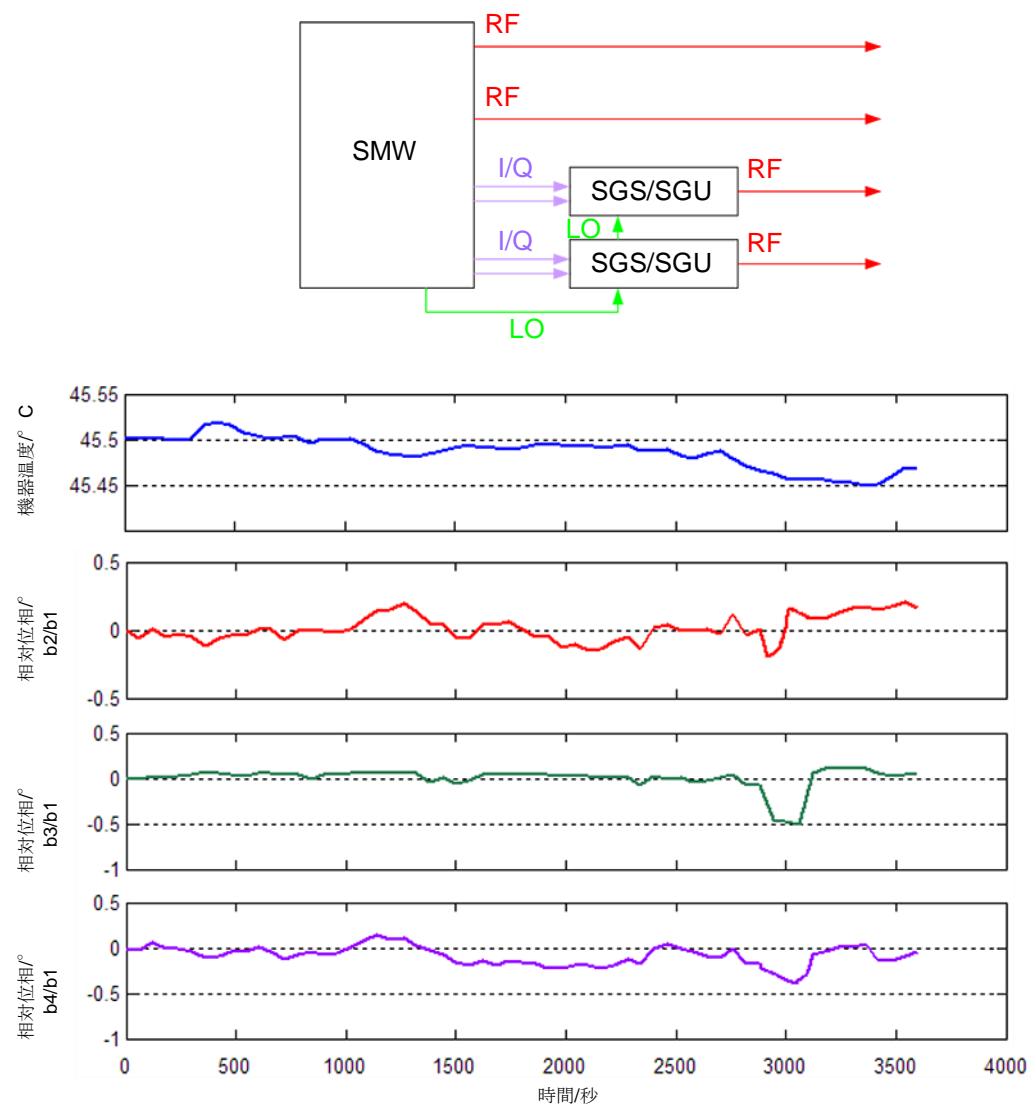
RF 周波数 : 10 GHz
チャネル数 : 4
LO 結合 : はい
温度 : 一定、室温
(プロットは機器の内部温度を表しています)
上に示されているデータ : 1 時間
セットアップ : SMW + 2x SGS/SGU のコンビネーション



相対位相の計測ドリフト :
b2/b1 : < 0.3° (SGU/SMW)
b3/b1 : < 0.2° (SMW/SMW)
b4/b1 : < 0.3° (SGU/SMW)

11.4 20 GHz での実行

RF 周波数 : 20 GHz
 チャネル数 : 4
 LO 結合 : はい
 温度 : 一定、室温
 (プロットは機器の内部温度を表しています)
 上に示されているデータ : 1 時間
 セットアップ : SMW + 2x SGS/SGU のコンビネーション

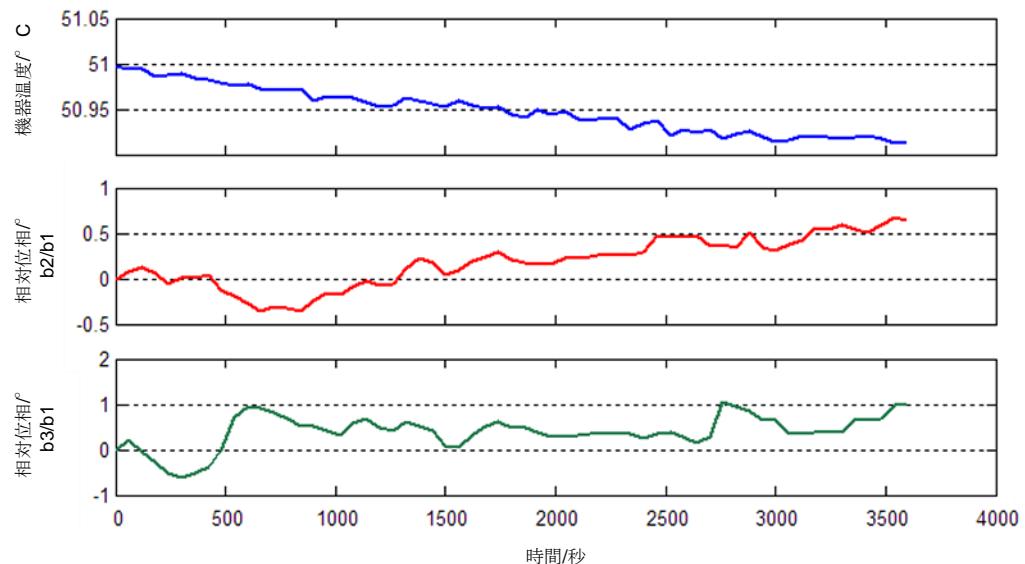
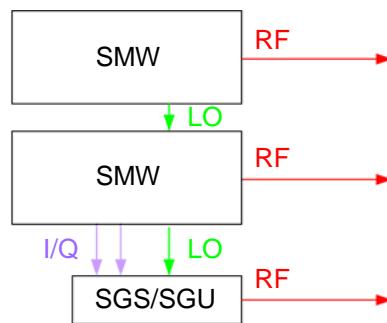


相対位相の計測ドリフト :
 b2/b1 : < 0.4° (SGU/SMW)
 b3/b1 : < 0.6° (SMW/SMW)
 b4/b1 : < 0.6° (SGU/SMW)

20 GHz での計測の変動は、1 時間以内で < 0.3° であることに注意してください。

11.5 40 GHz での実行

RF 周波数 : 40 GHz
 チャネル数 : 3
 LO 結合 : はい
 温度 : 一定、室温
 (プロットは機器の内部温度を表しています)
 上に示されているデータ : 1 時間
 セットアップ : 2x SMW + SGS/SGU のコンビネーション



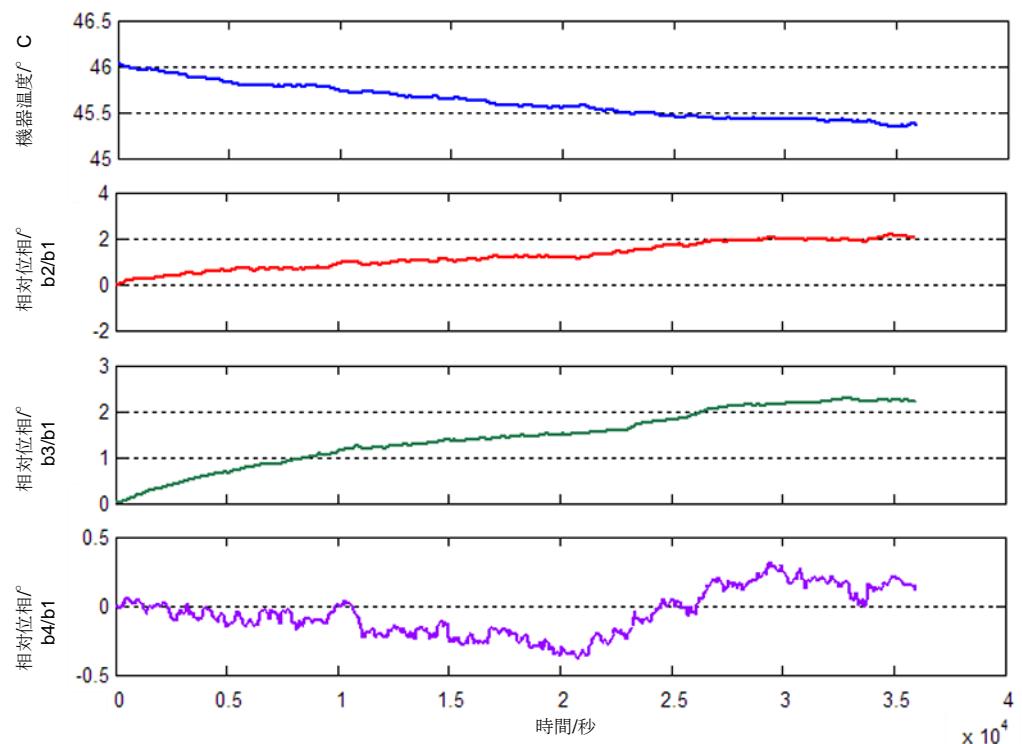
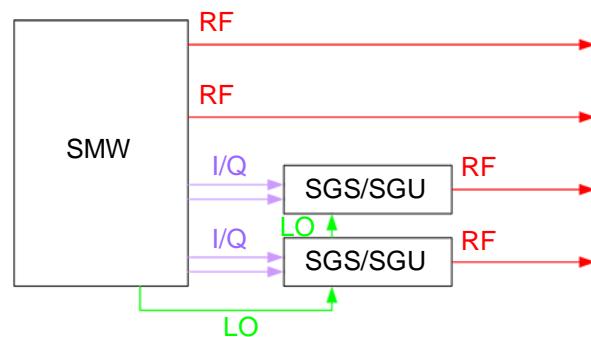
相対位相の計測ドリフト :
 b2/b1 : < 1.0° (SMW/SMW)
 b3/b1 : < 1.7° (SGU/SMW)

40 GHz での計測の変動は、1 時間以内で < 0.5° であることに注意してください。

2 GHz、10 GHz、20 GHz および 40 GHz の計測値を比較すると、計測された位相安定性は、RF 周波数の増加とともに減少することがわかります。これは、温度効果が、より高い周波数において、より強い影響を与えるためと予想されます。

11.6 10 時間での実行

RF 周波数 : 10 GHz
チャネル数 : 4
LO 結合 : はい
温度 : 0.8° C の変更、室温
(プロットは機器の内部温度を表しています)
上に示されているデータ : 10 時間
セットアップ : SMW + 2x SGS/SGU のコンビネーション

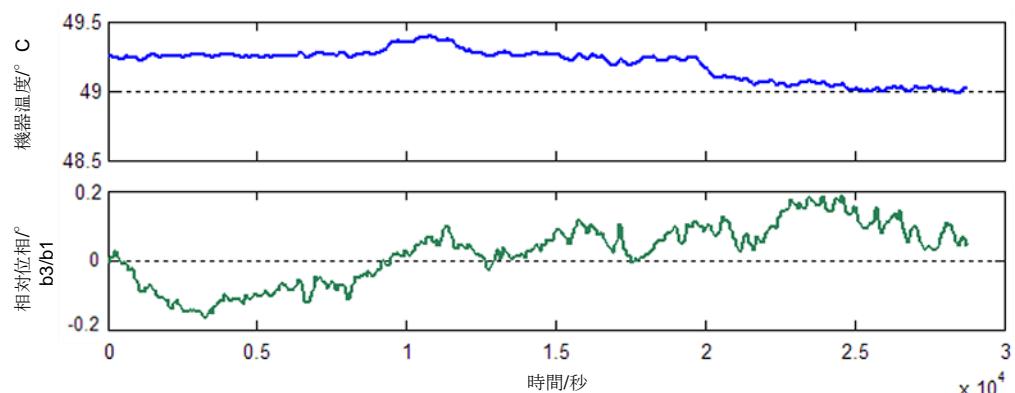


相対位相の計測ドリフト :
 b_2/b_1 : < 2.2° (SGU/SMW)
 b_3/b_1 : < 2.4° (SMW/SMW)
 b_4/b_1 : < 0.7° (SGU/SMW)

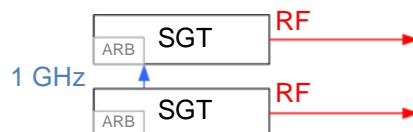
11.7 LO 対 1 GHz REF 結合

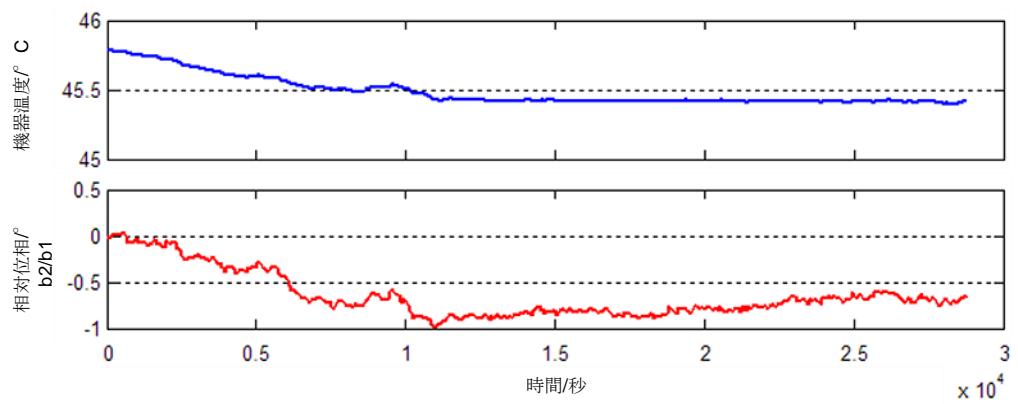
RF 周波数 : 2 GHz
チャネル数 : 2
温度 : 0.4 ° C の変更、室温
(プロットは機器の内部温度を表しています)
上に示されているデータ : 8 時間

結合 : LO
セットアップ : 2x SGT



結合 : 1 GHz REF
セットアップ : 2x SGT





相対位相の計測ドリフト：
 LO 結合 : $< 0.4^\circ$
 1 GHz REF 結合 : $< 1.0^\circ$

予想されるように、LO 結合は、1 GHz リファレンス結合よりも良好な位相安定性を示します。しかしながら、1 GHz REF カップリングによって達成される安定性でも、一部のアプリケーションでは十分なものです。

12 クイックガイド

このセクションでは、いくつかのセッティングおよび重要な点を、一目で分かるようにご紹介いたします。このコンパクトな要約は、包括的なものではありません。

セットアップおよびセッティング：

- LO 結合、すなわち、全ての信号発生器に対して共通のシンセサイザを使用してください。これには、オプション B90 または K90 が必要です。
- ベースバンドを介して位相をセットします。
- すべてのベースバンドソースが、同期されていることを確認してください。
- すべての LO および RF 接続において、可能な限りに短く、そして高品質の位相安定ケーブルを使用してください。
- すべての信号発生器で、RF 周波数を同じ値にセットします (LO 結合を有効にする前に)。
- 校正された相対位相を保護するため、ベースバンド減衰を介して、デジタル的に RF レベルを変更してください。

校正：

- 位相およびタイムアライメントには、ネットワークアナライザを使用します、例、ZVA。
- 最大 8 個の RF 信号を、4 ポート ZVA で同時に校正することができます。
- 校正には RF 接続ケーブルを含めてください。
- 校正は、後のアプリケーションで使用されるものと、同じ PEP レベルで実行することができます。
- "Phase Offset" パラメータにより、位相をデジタル的に調整します。
- "I/Q Delay" パラメータにより、遅延をデジタル的に補正します。
- RF 周波数が変更され、ステップアップテネーターを介して RF レベルが変更された場合には、校正を繰り返します。

環境：

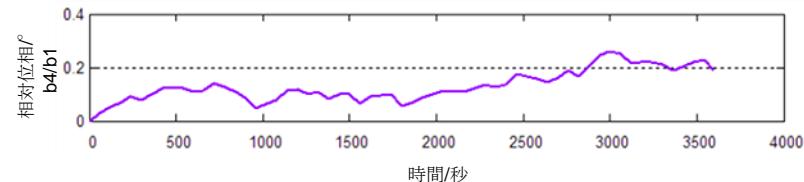
- 温度は、相安定性に大きな影響を及ぼすために、一定に保たれていなければなりません。

よくある質問：

- LO カップリングでカスケード接続できる機器の数はいくつですか？
制限はありません。機器がデイジーチェーン接続されている場合、LO 信号レベルは一定に保たれます。有効な LO ケーブル長は、カスケード接続された機器およびその温度効果によって増大します。よって、環境条件および許容できる位相ドリフトはどのくらいかという事が、つねに問題となります。対称的な LO 分岐および追加のデイジーチェイン接続の組合せは、温度効果を相殺するのに役立ちます。
- 特定の位相安定性の値は何ですか？
位相安定性は、使用されるシステム (すなわち、使用される機器、ケーブルセットアップ、RF 周波数およびチャネル数) および 環境条件 (温度変動) に依存するため、特定の値はありません。計測されたデータは、セクション 11 で見ることができます。

13 位相コヒーレントシステムの位相安定性を改善する方法

現実の世界においては、2つの信号の位相コヒーレントは、決して完全ではありません。経時に、相対位相のいくらか（小さい）のドリフトが発生します。



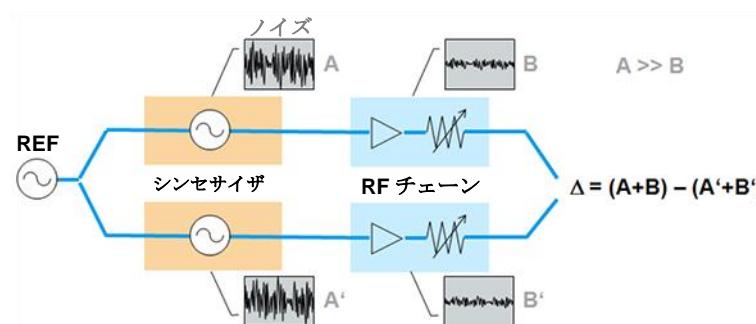
このセクションでは、マルチチャネル位相コヒーレントシステムの、位相安定性を改善するためのヒントを要約しています。

位相安定性に影響する要因は次のとおりです：

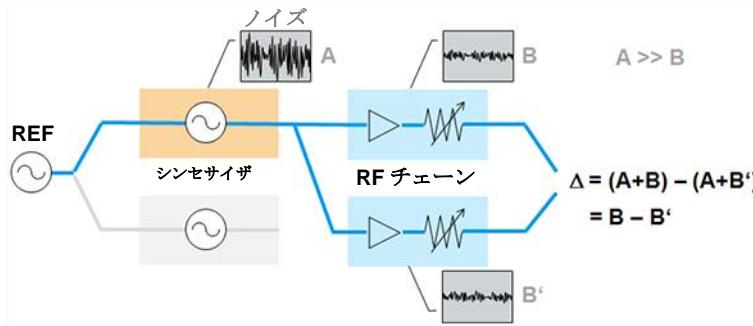
- 信号発生器結合
- 温度
- ケーブル配線

信号発生器結合

セクション 3.2 で説明したように、2つの信号/信号発生器間の相対的な位相を安定させるためには、いくつかの方法があります。ですが、1 GHz REF 結合および明らかに 1 GHz REF 結合より優れている LO 結合による LO 結合に対しては、適正な位相安定性が保証されます。その主な理由は、シンセサイザのノイズです。REF 結合の場合、両方のシンセサイザが使用されています。無相関シンセサイザノイズ A および A' は、以下の簡単なブロック図で示しているように、位相安定性に影響します。



出力 RF チェーンからのノイズ寄与 B および B' は、シンセサイザノイズ A および A' と比較すると、非常に小さいものです。2つの RF 出力の相対位相は、4つのノイズ寄与のすべてから影響を受けています。REF 結合の場合、一つの共通のシンセサイザのみが使用されています。シンセサイザノイズ A は、両方の RF 出力において同じであるため（相関）、位相安定性には影響しません。つまり、相殺されることになります。相対位相は、小さなノイズ寄与 B および B' の影響を受けるだけです。



- 結果として、最良の位相安定性を達成するためには、LO 結合を使用してください。

温度

セクション 6.1 で説明したように、温度は、位相安定性に非常に大きな影響を与えます。よって、可能な限温度を一定に保つ必要があります ($\Delta T < 0.1^\circ\text{C}$ を推奨いたします)。どのようにして、このような一定の温度条件を達成するのですか？通常の室内空調では、しばしば不安定すぎるために、冷たい空気の流れが途切れる場合があります。また、他の換気装置、例、窓、ドア、さらにはセットアップを通過する人も、不安定な空気の流れを作り出しています。これらの影響は、温度を非常に小さなスケールでマイナスに変化させますが、相対位相に顕著な影響を与えるには十分なものです。これを克服するための1つの方法としては、専門ベンダーによって提供される、温度制御チャンバーを使用することです。市場には、多くの異なる種類の温度チャンバーが存在しています。時間による温度偏差 ($\pm 0.1^\circ\text{C}$ から $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲内でなければなりません)、試験空間の容積（試験システムはチャンバー内に収まらなければならず、それに加えてチャンバーの容積の1/3の空気が残されていなければなりません）および熱補償（試験システムは、チャンバーによって吸収されなければならない熱を発生します）のような、関連するパラメータについての仕様書を確認することが重要です。大きな試験システムに対しては、約 $\pm 1^\circ\text{C}$ の温度偏差に対して優れた仕様を提供しているウォークイン温度チャンバーが市販されています。温度制御チャンバーには、二つの利点があります。まず、温度を一定に保ちます。第二に、熱を加えることができます。例えば、ケーブル内の誘電体の温度依存性、PTFEにとって有益となる 40°C まで、試験システム全体を加熱することができます。室温で発生するテフロン™膝領域については避けることができ、温度変動が位相に与える影響はより少なくなります。

- 簡単に言えば、良好な位相安定性を達成するには、周囲温度を一定 ($\Delta T \ll 1^\circ\text{C}$) に保てばよいのです。
- 非常に高い位相安定性が必要な場合には、温度制御チャンバーの使用を検討してください。

ケーブル配線

セクション 6.2 で説明したように、すべての LO および RF 接続に対して、適切な位相安定ケーブルを使用することは、絶対的に重要な事項です：

- すべての常設接続には、セミリジッドケーブルを使用してください。それらはフレキシブルケーブルよりも安価であり、触れた際に振動する傾向が少なくなっています。
- 必要な場所にのみフレキシブルケーブルを使用してください。
- 位相における温度の影響を最小限に抑えるために、すべてのケーブルの長さを可能な限り短くしてください（特に高 RF 周波数で作動させる場合）。

14 特別なアプリケーション

14.1 非常に低い RF 周波数における位相コヒーレンス

位相コヒーレンス B90/K90 オプションには、低い周波数制限があり、SMW および SMBV の場合では 200 MHz、SGT および SGS の場合では 80 MHz となっています（機器のデータシートも参照してください）。

そうであるために、周波数が 200 MHz 以下（SMW 用）または 80 MHz 以下（SGT 用）の複数の RF 信号に対して、位相コヒーレンスをどのように達成するかが問題となります。

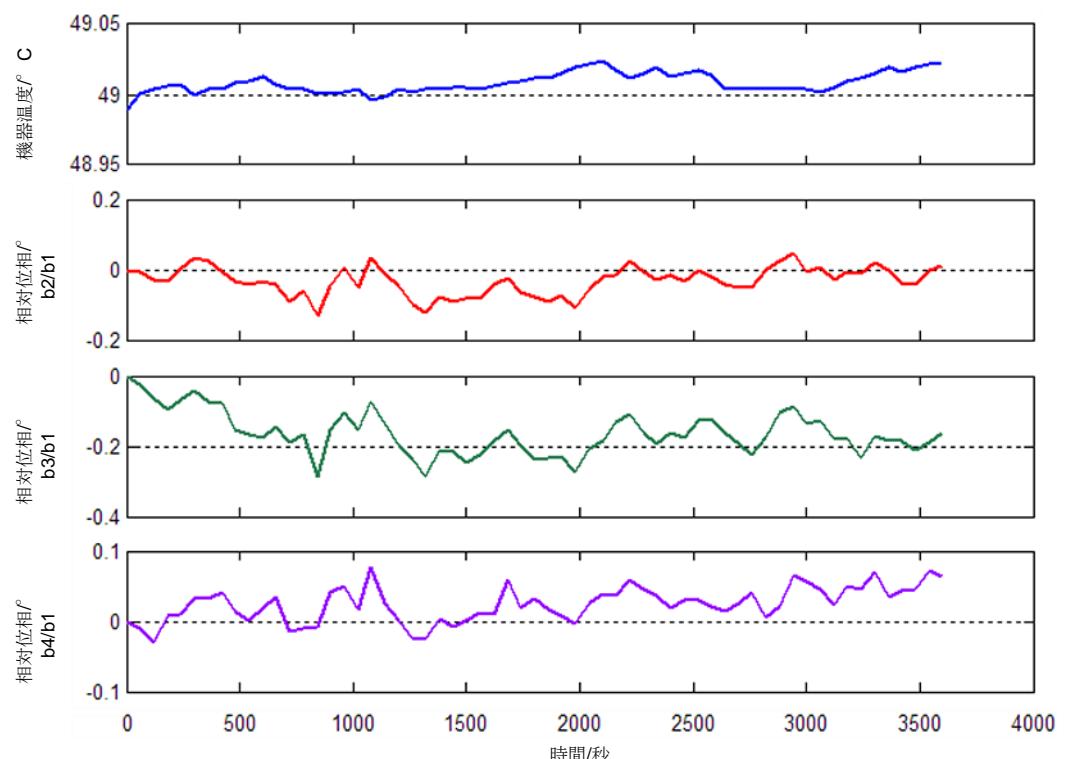
それにはさまざまなアプローチがあります：

- 1 GHz REF カップリング
- > 200 MHz RF 周波数（SMW）+ ベースバンド周波数オフセット
- ダイレクトベースバンド信号出力 + ベースバンド周波数オフセット

どのアプローチが適用可能であり、最も理にかなっているかについては、アプリケーションによって異なります。

1 GHz REF カップリング

低い RF 周波数では、1 GHz REF 結合は、LO 結合の良い代替手段となります。1 GHz の REF 結合によって達成可能な位相安定性は、70 MHz の RF 周波数（4 つの SGT によって実施）における次の計測例に示すように、非常に良好です。



セクション 15.1 の表には、1 GHz REF 結合をサポートするセットアップがリストされています。

> 200 MHz RF 周波数 + ベースバンド周波数オフセット

RF 周波数は、B90/K90 オプションでサポートされている値にセットされています、例、SMW の場合では 200 MHz 以上、例えば 201 MHz とします。希望の出力周波数を達成するために、負のベースバンド周波数オフセットが適用されます。例えば、希望の出力周波数を 180 MHz とする場合では、RF 周波数は 201 MHz にセットし、-21 MHz の負の周波数オフセットをベースバンドに適用します。結果として得られる RF 出力信号は、この例では、180 MHz の周波数となります。

機器は、インストールされているハードウェアおよびオプションに応じて、異なるベースバンド帯域幅を提供します。例えば、B10 オプションが付いている SMW では、最大 80 MHz の負の周波数オフセットを適用することができ、B9 オプションが付いている SMW では、最大 1000 MHz の負の周波数オフセットを適用することができます。

ベースバンドに周波数オフセットを適用する方法については、セクション 7.2 を参照してください。

ダイレクトベースバンド信号出力 + ベースバンド周波数オフセット

ベースバンド周波数オフセットを適用すると、I 信号および Q 信号が IF 信号に変換され、それを RF 信号の代わりに直接に DUT に供給することができるようになります。この機器には、I および Q 信号出力専用コネクタが付いています。例えば、希望の出力周波数を 70 MHz とする場合では、70 MHz の正の周波数オフセットをベースバンドに適用します。RF 信号は使用されません。代わりに、この例では、70 MHz の (RF) 周波数を有している I 信号が直接使用されます。

機器は、インストールされているハードウェアおよびオプションに応じて、異なるベースバンド帯域幅を提供します。例えば、B10 オプションが付いている SMW では、最大 80 MHz の正の周波数オフセットを適用することができ、B9 オプションが付いている SMW では、最大 1000 MHz の正の周波数オフセットを適用することができます。

ベースバンドに周波数オフセットを適用する方法については、セクション 7.2 を参照してください。

14.2 異なる RF 周波数を使用するマルチチャンネルセットアップの位相コヒーレンス

アプリケーションによっては、複数の位相コヒーレント信号が必要ですが、信号ごとに異なる RF 周波数が必要です。



そうであるために、周波数の異なる複数の RF 信号に対して位相コヒーレンスをどのように達成するかが問題となります。

それにはさまざまなアプローチがあります：

- 1 GHz REF カップリング
- LO 結合 + ベースバンド周波数オフセット

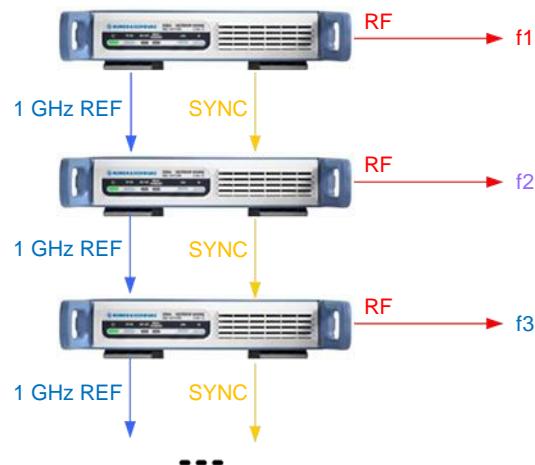
どのアプローチが適用可能であり、最も理にかなっているかについては、アプリケーションによって異なります。

1 GHz REF カップリング

複数の信号発生器、すなわちシンセサイザは、共通の 1 GHz リファレンス信号によって結合することができます。異なるシンセサイザが作動しているので、それぞれのシンセサイザを、異なる RF 周波数に設定することができます。詳細については、セクション 3 を参照してください。

セクション 15.1 の表には、1 GHz REF 結合をサポートするセットアップがリストされています。

例えば、複数の SGT からなる以下のセットアップを使用することにより、異なる出力周波数をもつ、マルチチャネル位相コヒーレントシステムを実現することができます。



このようなセットアップの位相安定性は、RF 周波数に依存しており、一般的には、低い周波数において非常に良好です（セクション 11.7 および 14.1 を参照してください）。

LO 結合 + ベースバンド周波数オフセット

共通の LO 信号と結合された複数の信号発生器は、同一の RF 周波数を有する信号を自然に生成します。よって、ベースバンドに周波数オフセットを適用することによってのみ、異なる RF 周波数を達成することができます。例えば、希望の出力周波数は、1.56 GHz、1.60 GHz および 1.64 GHz とします。RF 周波数は、すべての信号発生器で 1.60 GHz にセットされています。つまり、共用 LO 周波数は 1.60 GHz となります。一つの信号発生器のベースバンドに、-40 MHz の負の周波数オフセットを適用します；40 MHz の正の周波数オフセットを、別の信号発生器のベースバンドに適用します。結果として得られる RF 出力信号は、この例では、1.56 GHz、1.60 GHz および 1.64 GHz の周波数となります。

機器は、インストールされているハードウェアおよびオプションに応じて、異なるベースバンド帯域幅を提供します。例えば、B10 オプションが付いている SMW では、最大 ± 80 MHz の正の周波数オフセットを適用することができ、B9 オプションが付いている SMW では、最大 ± 1000 MHz の正の周波数オフセットを適用することができます。

ベースバンドに周波数オフセットを適用する方法については、セクション 7.2 を参照してください。

15 付記

15.1 可能なマルチチャンネルセットアップのリスト

セクション 4 で説明しましたように、SMW は、位相コヒーレンスアプリケーションに理想的な機器です。しかし、位相コヒーレント信号の生成を可能にする、様々なセットアップが存在しています。主にチャネル数および RF 周波数の上限が、異なります。次の表では、可能なソリューションの概要を表しています。

始めに、いくつかの一般的な見解：

- トリガーの不確定性を排除するために、マスタスレーブモードを使用して、複数の発生器を同期させる必要があります。
- LO 結合は、ベースバンドを介して位相をセットする必要があります
- 1 GHz REF 結合により、シンセサイザを介して位相を設定することができるようになります

セットアップを複製または乗算することにより、より多くのチャネルを得ることができます。

位相コヒーレント信号を生成するためのセットアップ					
可能					
発生器	周波数(最大)	チャネル数	結合	信号タイプ	備考
1x SMW、最大 6x SGT	6 GHz	最大 8	LO	CW, I/Q 変調器	
複数の SGT	6 GHz	SGT s の数	LO 1 GHz REF	CW, I/Q 変調器	マスター - スレーブベースバンド同期が必要
1x SMW、最大 2x SGT	12.5 GHz	最大 4	LO	CW, I/Q 変調器	
複数の SGS	12.5 GHz	SGS s の数	1 GHz REF	CW	ベースバンドなし； LO 結合は、位相を制御することができないので、重要ではありません
1x SMW、最大 2x SGS/SGU	20 GHz	最大 4	LO	CW, I/Q 変調器	
1x SMW	20 GHz	2	LO	CW, I/Q 変調器	
複数の SMW	20 GHz	SMW の数 × 2	LO	CW, I/Q 変調器	マスター - スレーブベースバンド同期が必要
1x SMW、最大 2x SGS/SGU	40 GHz	最大 3	LO	CW, I/Q 変調器	SMW 40 GHz バージョンには、RF 出力が 1 つしかありません
複数の SGS/SGU	40 GHz	SGS/SGU の数	1 GHz REF	CW	ベースバンドなし； LO 結合は、位相を制御することができないので、重要ではありません
複数の SMW	40 GHz	SMW s の数	LO	CW, I/Q 変調器	マスター - スレーブベースバンド同期が必要

位相コヒーレント信号を生成するためのセットアップ					
可能 - 外部 ARB により					
発生器	周波数(最大)	チャネル数	結合	信号タイプ	備考
SGS を使用した複数の ARBs	12.5 GHz	ARB-SGS ペアの数	LO 1 GHz REF	CW, I/Q 変調器	ベースバンド同期が必要
SGS/SGU を使用した複数の ARBs	40 GHz	ARB-SGS/SGU ペアの数	LO 1 GHz REF	CW, I/Q 変調器	ベースバンド同期が必要

外部 ARB は、例えば、R&S®AFQ100B などの広帯域 ARB になり得ます。

注意：LO 結合は、ベースバンドの位相をセッティングする必要があります。位相アライメントのために、外部 ARB は、位相をコントロールする手段を提供しなければなりません。R&S®AFQ100B には位相をセットする専用の手段がありません；I および Q の遅延は、10ps の分解能において、±2ns のレンジでセットすることができます。

16 略語

ALC	自動レベルコントロール
ARB	任意波形発生器
CW	連続波
DAC	デジタル-アナログ変換器
DC	直流
DUT	試験中のデバイス
I/Q	同位相/直角位相
LO	局部発振器
PLL	位相ロックループ
PTFE	ポリテトラフルオロエチレン
REF	リファレンス
RF	ラジオ周波数
S/N	信号対ノイズ比
SCPI	プログラマブル機器の標準コマンド
Tx	送信
VCO	電圧制御発振器
VSG	ベクトル信号発生器
VNA	ベクトルネットワークアナライザ
WV	ARB 波形

17 参考文献

- [1] Rohde & Schwarz アプリケーションノート, “Connecting and Interfacing with SGMA Instruments” (1GP103)
- [2] “Temperature Stability of Coaxial Cables” by K.Czuba and D. Sikora, ISE, Warsaw University of Technology, Nowowiejska 15/19, 05-077 Warsaw, Poland
- [3] Rohde & Schwarz アプリケーションノート, “Phase Adjustment of Two MIMO Signal Sources with Option B90” (1GP67)
- [4] Rohde & Schwarz アプリケーションノート, “R&S ARB Toolbox Plus” (1GP88)
- [5] Rohde & Schwarz アプリケーションノート, “Time Synchronous Signals with Multiple R&S®SMBV100A Vector Signal Generators” (1GP84)
- [6] Rohde & Schwarz アプリケーションノート, “Multi-Channel Signal Generation Applications with R&S®SMW200A - Overview” (1GP106)

18 オーダー情報

次の Rohde & Schwarz 製品に関する包括的なオーダー情報(“Options”)については、Rohde & Schwarz 製品ウェブサイト www.rohde-schwarz.com をご覧ください。

- R&S®SMW200A vector signal generator
- R&S®SMBV100A vector signal generator
- R&S®SGT100A SGMA vector RF source
- R&S®SGS100A SGMA RF source
- R&S®SGU100A SGMA upconverter
- R&S®ZVA vector network analyzer

Rohde & Schwarz

Rohde&Schwarz エレクトロニクスグループは、試験および計測、放送およびメディア、安全な通信、サイバーセキュリティ、ラジオモニタリングおよび無線標定の分野において革新的なソリューションを提供しています。80年以上も前に設立されたこの独立系グローバル企業は、広範な販売およびサービスネットワークを持っており、70カ国以上に存在しております。

エレクトロニクスグループは、確立されたビジネス分野における世界のマーケットリーダーです。同社は、ドイツのミュンヘンに本社を置いております。また、シンガポール、コロンビアおよび米国のメリーランド州に地域本社を置いており、これらの地域での事業運営を管理しております。

本社 〒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

URL : <http://www.rohde-schwarz.co.jp>

ご購入に関するお問い合わせ

TEL : ☎0120-190-721

FAX : 03-5925-1290/1285

E-mail : Sales.Japan@rohde-Schwarz.com

技術・仕様に関するお問い合わせ

TEL : ☎0120-190-722

E-mail :

Technical-Support.Japan@rohde-Schwarz.com

修理・校正・サービスに関するお問い合わせ

TEL : ☎0120-138-065

E-mail : service.rsjp@rohde-Schwarz.com

電話受付時間 9:00 ~ 18:00

(土・日・祝・弊社休業日を除く)

持続可能な製品設計

- 環境適合性およびエコフットプリント
- エネルギー効率および低排出ガス
- 長寿命および最適化された総所有コスト

認定品質管理

ISO 9001

認定環境管理

ISO 14001

このアプリケーションノートおよび付属のプログラムは、Rohde & Schwarz 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使用条件に従ってのみ使用することができます。

R&S®は Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG の登録商標です；商号は所有者の商標です。

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Mühldorfstraße 15 | 81671 Munich, Germany
Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

www.rohde-schwarz.com