

# ベクトル信号発生器による MIMO 位相コヒーレントの実現

MG3710A  
ベクトル信号発生器

## はじめに

MIMO(Multi-Input Multi-Output)は、無線区間のデータ転送速度または品質を向上させる技術の1つで、LTE、無線LAN、WiMAXなど多くの無線規格で採用されています。従来一般的なMIMOは、基地局を送信機に、端末を受信機にしたダウンリンク向けのシステムが主流でした。最近では、データ転送量の増加要求に応えるため、IEEE802.11nやLTE-AdvancedなどアップリンクでもMIMOが採用されています。今後、さらにMIMOの適用範囲は広がり、複雑度が増していくと予想されます。

本アプリケーションノートは、アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使用して、MIMO 送信機をシミュレートするときに考慮する必要のある複数チャネル間の RF 信号の同期について説明します。

本アプリケーションノートに記載されている MIMO の評価システムをアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器で実現するには、以下のオプションとファームウェアが必要です。

- 1stRF (いずれか一つを選択してください)
  - 1stRF 100kHz ~ 2.7GHz [MG3710A-032]
  - 1stRF 100kHz ~ 4GHz [MG3710A-034]
  - 1stRF 100kHz ~ 6GHz [MG3710A-036]
  
- 2ndRF (いずれか一つを選択してください)
  - 2ndRF 100kHz ~ 2.7GHz [MG3710A-062]
  - 2ndRF 100kHz ~ 4GHz [MG3710A-064]
  - 2ndRF 100kHz ~ 6GHz [MG3710A-066]
  
- 汎用入出力 [MG3710A-017] 複数台の MG3710A を同期させる場合に必要です。
- ファームウェア Ver. 2.02.00 以降

## MIMO の概略

MIMO は、複数のアンテナを使って異なるデータを送信し、複数のアンテナで受信するシステムです。データの伝送路であるアンテナを増やせば、その分単位時間当たりのデータ転送量を増やすことができるという考えに基づいています。2本のアンテナで送信して2本のアンテナで受信するシステムを2x2 MIMO、4本のアンテナで送信して4本のアンテナで受信するシステムを4x4 MIMOと呼びます。

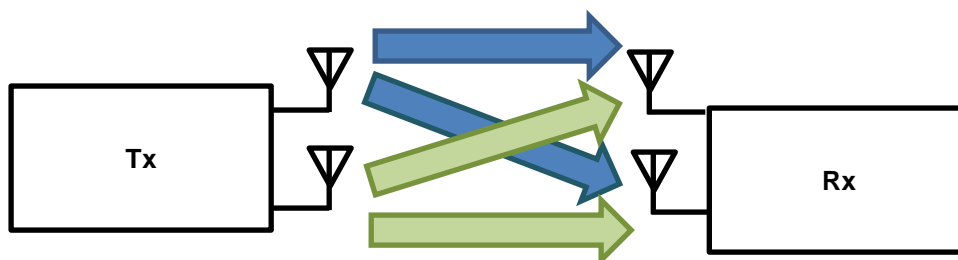


図 1. 2x2 MIMO の概念図

送信機は、MIMO のチャンネル数に応じたデータの流を生成します。次に、生成されたデータの流に対して行列演算を行います。この行列演算は、送信機と受信機で同じものが使用され、受信機が各アンテナで受信した混合されたチャンネル信号を分離するために使われます。行列演算が行われた各データの流は、対応するアンテナから送信されます。受信機のアンテナは、それぞれ送信機の複数のアンテナからの混合された信号を受信することになります。受信機は、送信機で使用された行列の逆行列演算を行うことによって混合された信号を分離し、元のデータの流を生成します。

一般的な MIMO では、各チャンネル間で使用される RF 信号のキャリア周波数と帯域幅は同じで、かつ送信時の位相とタイミングも同期しています。無線区間になるとアンテナ間の距離や障害物によって減衰と伝送遅延が生まれ、受信機のアンテナでは周波数や振幅・位相などに誤差が生じます。受信機ではイコライジングなどによってこれらの誤差を補正し、データの復元を試みます。

複数の信号発生器を使用して MIMO の送信機をシミュレートする場合も同様に、RF 信号間の位相とタイミングの同期が必要な場合があります。送信するベースバンド信号に既知の位相・タイミング誤差を加えてそれに対する MIMO 受信機の機能・性能をテストしたり、フェージングシミュレータを使って伝送特性に対する受信機の能力を評価したりする場合などです。

## 位相コヒーレントの実現

RF 信号間の位相とタイミングが同期すると RF 信号間で一定の位相差(オフセット)を持つ状態になります。これを位相コヒーレントと呼びます。

図 2 は、ダイレクトコンバージョン方式を採用した無線送信機の簡易的なブロック図です。1 次変調されたデジタルデータは、ベースバンド部の D/A コンバータによってアナログの IQ 信号に変換されます。アナログ IQ 信号はダイレクトコンバージョンによって RF 信号に変換されます。

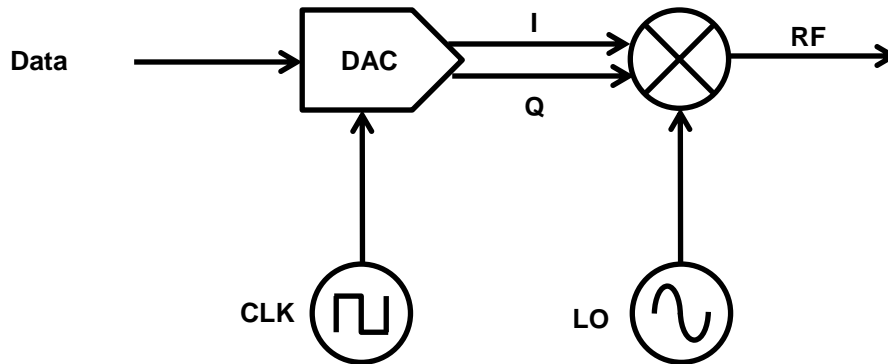


図 2. ダイレクトコンバージョン方式の無線送信機構成

図 3 は、図 2 の構成を基本とした位相コヒーレントを実現するブロック図です。位相コヒーレントを実現するには、チャンネル間の送信データの開始タイミング、ローカル発振器(LO), そしてベースバンド信号のサンプリングクロック(CLK)のすべてが共有されている必要があります。

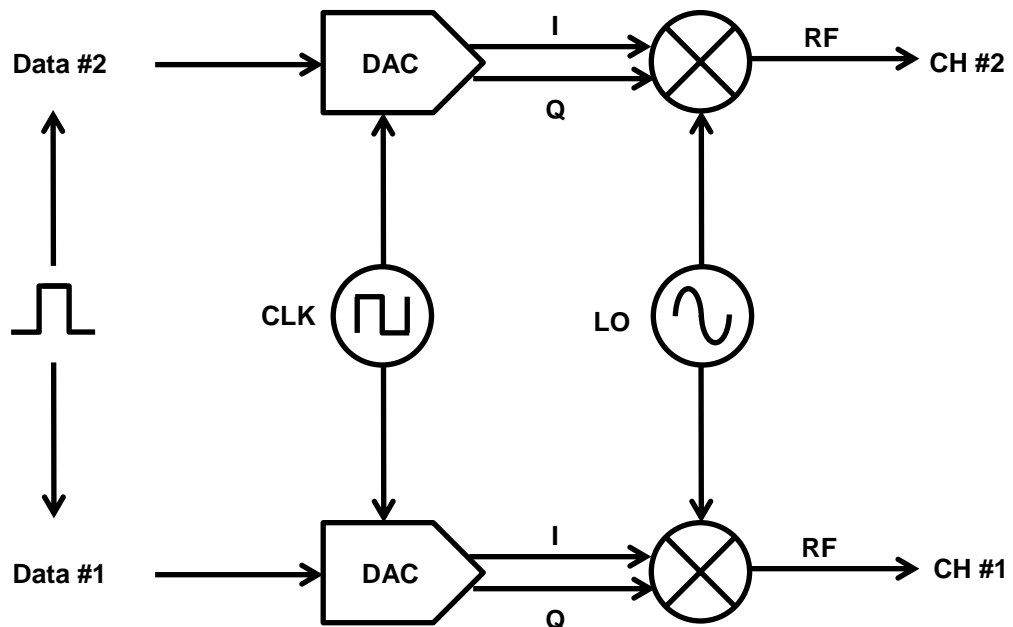


図 3. チャンネル間の同期

## 2x2 MIMO

アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器は、2つの RF を搭載することができます。  
2つの RF を搭載したアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使用すれば、SG 同期機能によって簡単に、図 4 のようなブロックを構成できます。

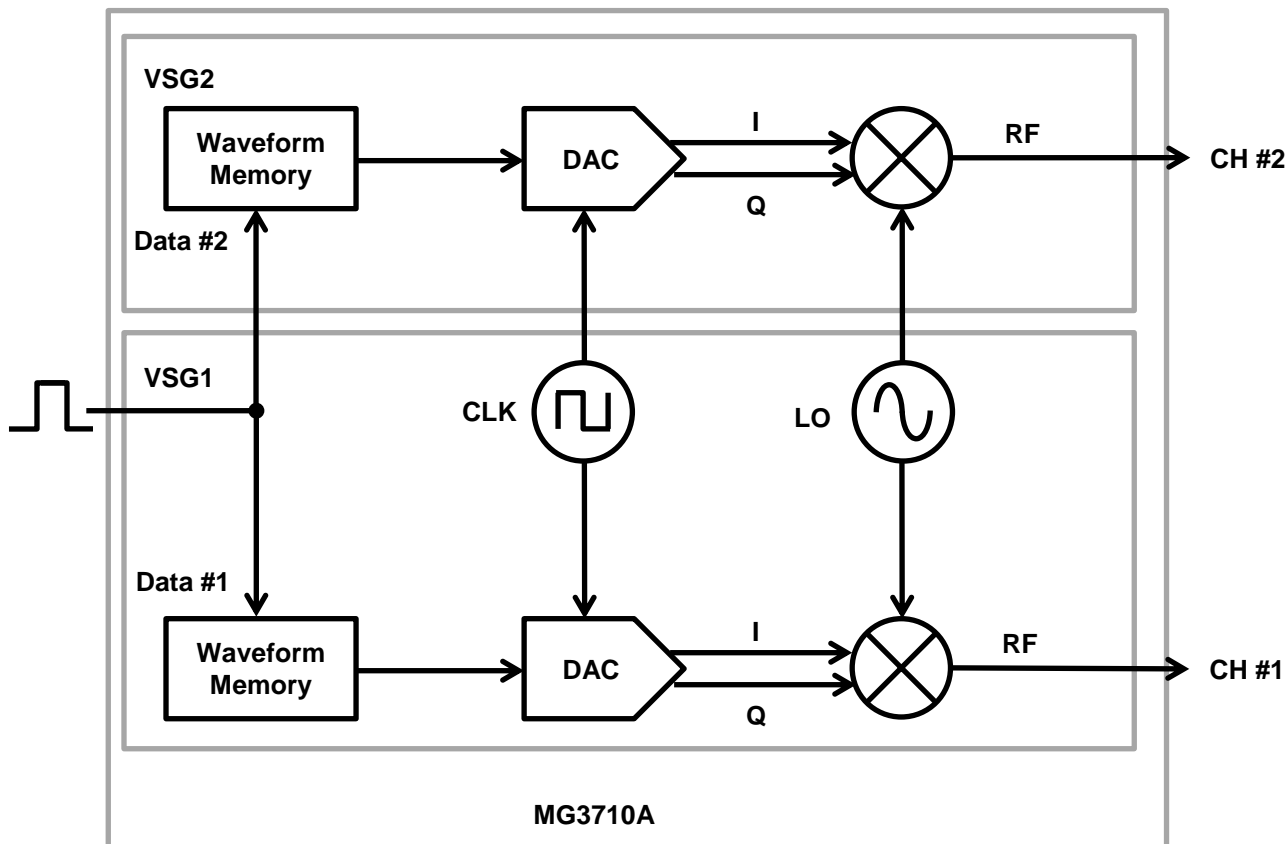


図 4. MG3710A SG 同期機能によるチャンネル間の同期

## 2x2 MIMO (続き)

本アプリケーションノートでは、スペクトラムアナライザを使って RF 信号間で位相差とタイミング誤差を最小にします。この方法は、位相差が 180 度の同じ信号を結合すると正と負の振幅が打ち消し合い、電力が最小になる性質を利用しています。

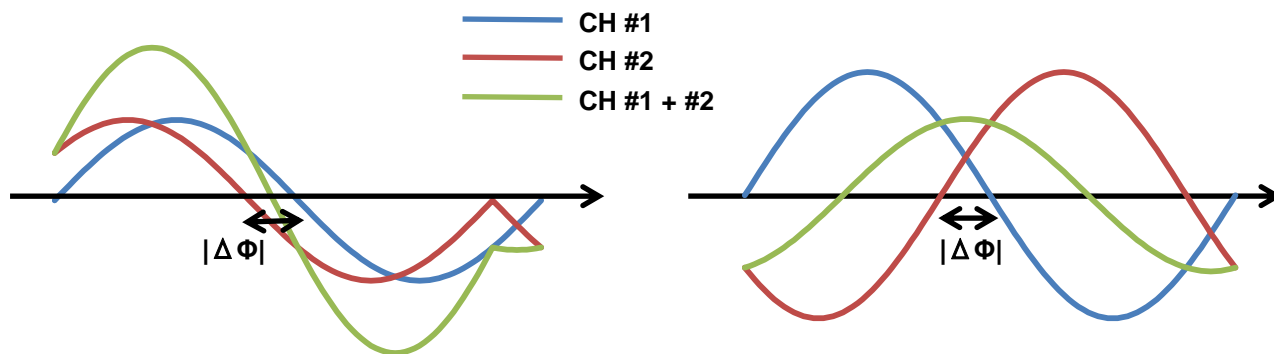


図 5. 同期対象の 2 チャンネルの波形 位相差 $|\Delta\Phi|$ (左)と位相差  $180^\circ + |\Delta\Phi|$ (右)

図 6 のような測定系を構成します。VSG1 とコンバイナを接続するケーブルと VSG2 とコンバイナを接続するケーブルは、同じ種類・長さのものを使用してください。

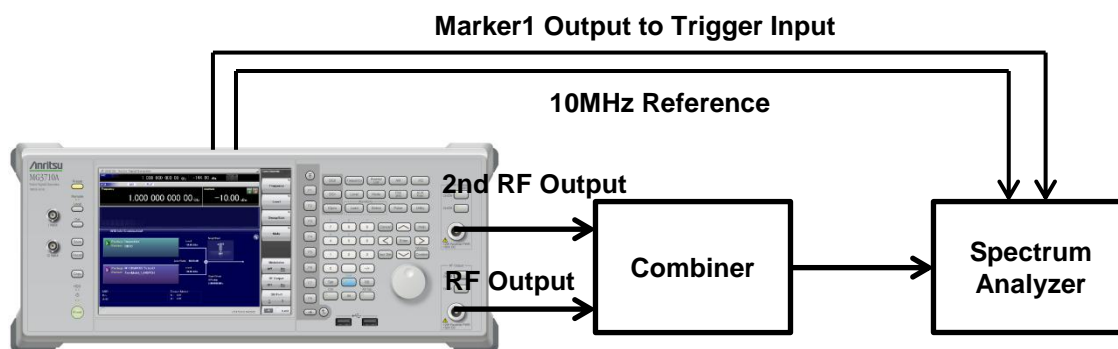


図 6. 2x2 MIMO のタイミング調整時の構成

ここでは、VSG1 を基準として VSG2 の位相とタイミングを調整します。

## 2x2 MIMO (続き)

### 【調整手順】

1. [Preset] → [F1] Preset を押して、初期化を行います。
2. VSG1 と VSG2 の両方において、パッケージ名「PhaseCoherence」の波形パターン「Adjustment」をロード・選択します。
3. [Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンクションメニューを表示します。
  - 1. [F1] Sync Type を押して、[F4] SG1&2 を選択します。
  - 2. [F4] LO Sync を On にします。
4. VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。

Frequency	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Amplitude	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Modulation	On
RF Output	On
5. VSG1 と VSG2 の両方において、
  - 1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
  - 2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
  - 3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
6. VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。

ATT Hold <sup>注1</sup>	On
------------------------	----
7. VSG1 において、[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F4] Marker Setup → [F1] Marker1 A を以下のように設定します。

[F1] Edit Mode	Sync
[F2] Offset	0.00
[F3] Width	10.00
8. VSG1 において、  
[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start  
[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F3] Source を Trigger Key に設定します。
9. VSG1 において、[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

## 2x2 MIMO (続き)

図 7 は、位相調整前のスペクトラムアナライザの様子です。

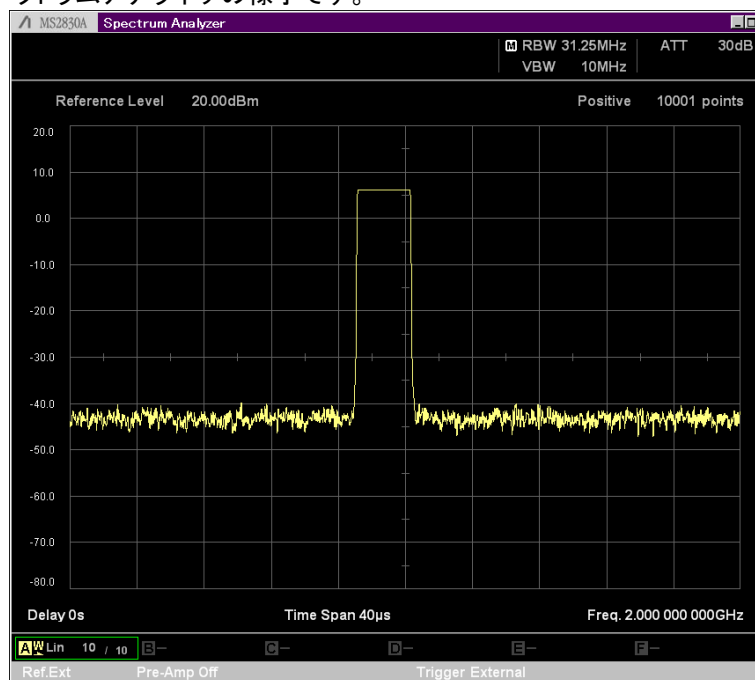


図 7. 位相調整前の状態

10. VSG1 において、[Mode]キー → [→](ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。

図 8 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。

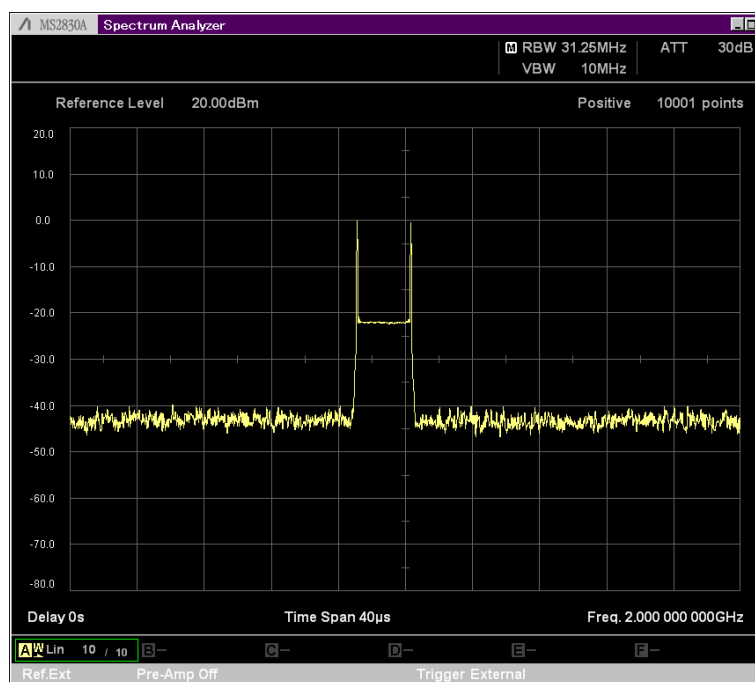


図 8. 位相調整 1 回目後の状態

11. VSG2 において、[Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。



2x2 MIMO (続き)  
【調整手順】(続き)

図 9 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。

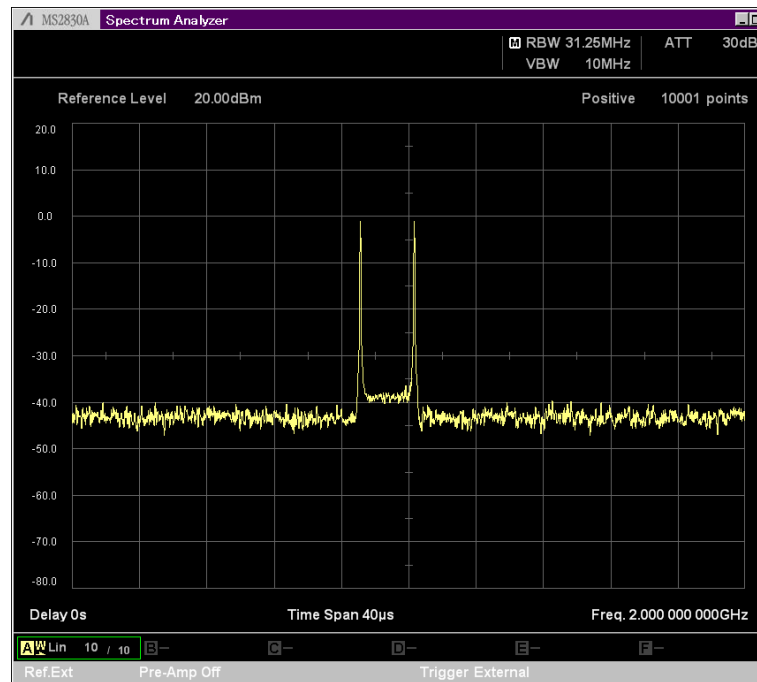


図 9. レベル調整後の状態

12. VSG2において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。

図 10 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。

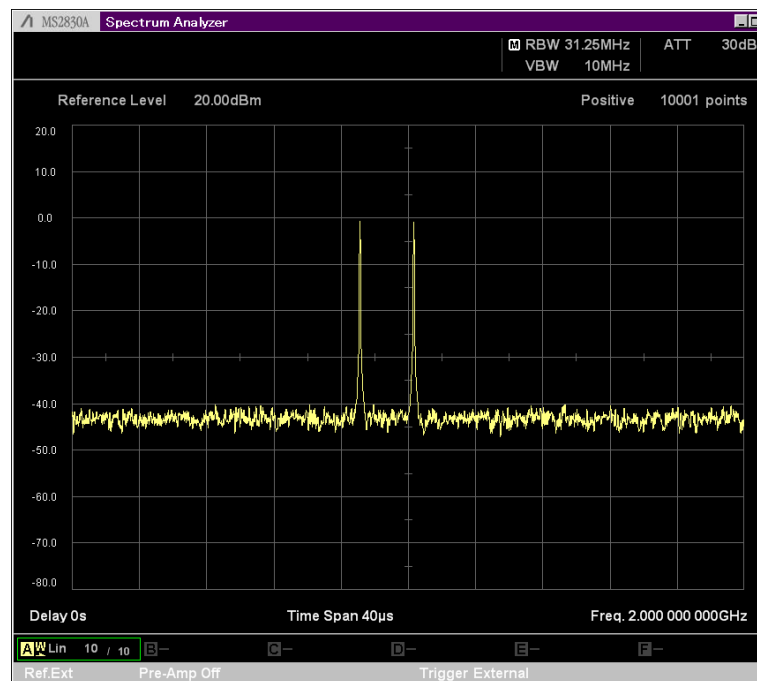


図 10. 位相調整 2 回目後の状態

## 2x2 MIMO (続き)

### 【調整手順】(続き)

13. VSG2において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。

図 11 は、この時点でのスペクトラムアナライザの様子です。

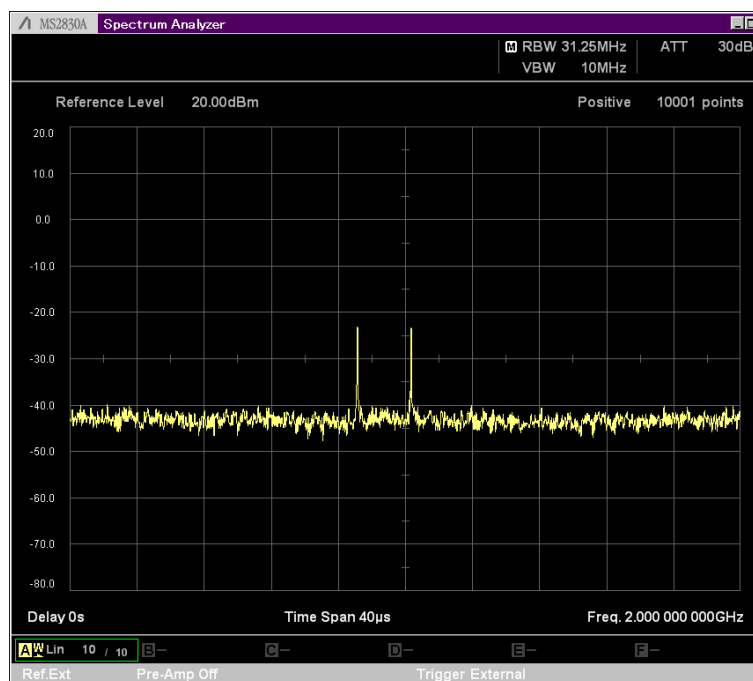


図 11. タイミング調整後の状態

この時点で、VSG1 からの出力信号と VSG2 からの出力信号の位相差は  $180^\circ + |\Delta\phi|$  になります。

14. VSG2において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して  $180^\circ$  を加算した値にします。たとえば、手順 10 において 10 degree を設定した場合、 $180+10=190$  degree を設定します。ただし値が  $360^\circ$  を超える場合は  $180^\circ$  を減算した値にします。

この時点で、VSG1 からの出力信号と VSG2 からの出力信号の位相差は、最小化された  $\Delta\phi$  になります。

15. VSG1 において、チャンネル#1 の波形データをロード・選択します。
16. VSG2 において、チャンネル#2 の波形データをロード・選択します。
17. VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

以上の操作で最後に選択した波形データが位相・タイミングの差が一定かつ最小の状態です。

#### 注 1:

アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器は、あらゆる設定条件で最高の性能を実現するため、周波数やレベルの設定によって信号の経路が最適化されています。そのため、チャンネル間の位相・タイミング調整を行った後に周波数やレベルの設定を変更した場合は、位相・タイミング誤差の調整を再度行う必要があります。ただし、パラメータ「ATT Hold」をオンにしておくと、レベルを変更しても信号の経路は変わりません。

## 4x4 MIMO

4x4 MIMO を実現するには、2 台のアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器が必要です。図 12 のような測定系を構成します。4 つのチャンネル間で送信データの開始タイミング、チャンネル間のローカル発振器、そしてベースバンド信号のサンプリングクロックのすべてを共有するため、それらの信号を 2 台のアンリツ MG3710A ベクトル信号発生器間で共有します。

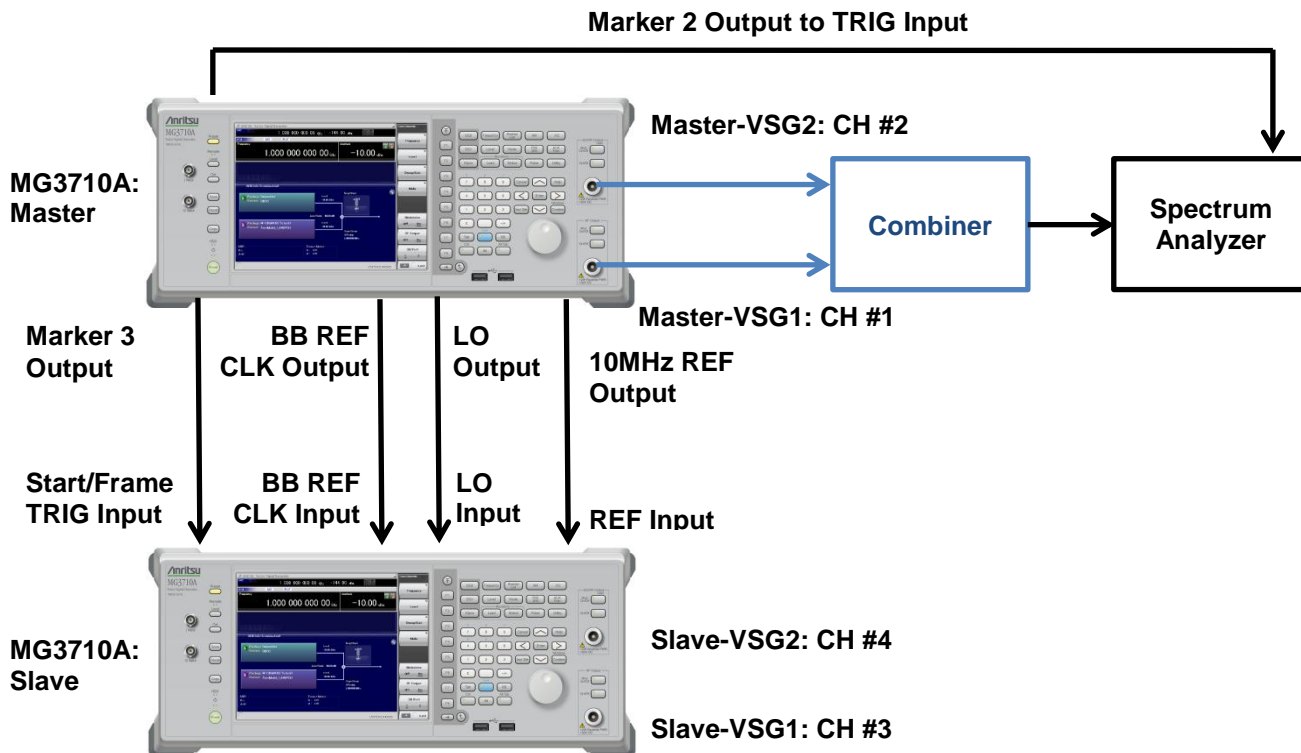


図 12. 4x4 MIMO の構成  
(コンバイナとスペクトラムアナライザの接続はマスタ MG3710A の VSG1・VSG2 の調整に対するもの)

共有するチャンネル数が増えるとチャンネル間の位相・タイミング誤差の調整手順も増えます。4x4 MIMO では、次の順番で調整を行います。ここでは、マスタ MG3710A の VSG1 を基準として、他のチャンネルの位相とタイミングを調整します。

### ステップ 1: マスタ VSG1ーマスタ VSG2 間の位相差調整

1. マスタ MG3710A の VSG1 とマスタ MG3710A の VSG2 の RF 出力をコンバイナで結合し、スペクトラムアナライザに入力します。
2. マスタ MG3710A とスレーブ MG3710A の両方において、[Preset] → [F1] Preset を押して、初期化を行います。
3. マスタ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方、スレーブ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、パッケージ名「Phase Coherence」の波形パターン「Adjustment」をロード・選択します。
4. マスタ MG3710A において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンクションメニューを表示します。
  - 1. [F1] Sync Type を押して、[F2] Master を選択します。
  - 2. [F4] LO Sync を On にします。
5. マスタ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを同じ値に設定します。
 

Frequency	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Amplitude	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Modulation	On
RF Output	On

## 4x4 MIMO (続き)

6. マスタ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、
  - 1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
  - 2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
  - 3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
7. マスタ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを設定します。  
ATT Hold<sup>注1</sup> On
8. マスタ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F4] Marker Setup → [F2] Marker2 A  
を以下のように設定します。  
[F1] Edit Mode Sync  
[F2] Offset 0.00  
[F3] Width 10.00
9. マスタ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F4] Marker Setup → [F3] Marker3 A  
を以下のように設定します。  
[F1] Edit Mode Sync  
[F2] Offset 0.00  
[F3] Width 10.00
10. マスタ MG3710A の VSG1 において、  
[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start  
[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F3] Source を Trigger Key  
に設定します。
11. マスタ VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。
12. マスタ MG3710A の VSG2 において、
  - 1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
13. マスタ MG3710A の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
14. マスタ MG3710A の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

### ステップ 2: マスタ VSG1—スレーブ VSG1 間の位相差調整

15. マスタ MG3710A の VSG1 とスレーブ MG3710A の VSG1 の RF 出力をコンバイナで結合し、スペクトラムアナライザに入力します。
16. スレーブ MG3710A において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG を押して Sync Multi SG ファンクションメニューを表示します。
  - 1. [F1] Sync Type を押して、[F3] Slave を選択します。
  - 2. [F4] LO Sync を On にします。

## 4x4 MIMO (続き)

17. スレーブ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方で、次のパラメータを同じ値に設定します。

Frequency	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Amplitude	任意 (ただし、チャンネル間で同じ値)
Modulation	On
RF Output	On
18. スレーブ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、
  - 1. [Cal] → [F2] I/Q Cal を押して、I/Q Calibration ファンクションメニューを表示します。
  - 2. [F2] Cal Type を DC に設定します。
  - 3. [F1] Execute を押して、I/Q DC Cal を実行します。
19. スレーブ MG3710A の VSG1 と VSG2 の両方において、次のパラメータを設定します。

ATT Hold <sup>注1</sup>	On
------------------------	----
20. スレーブ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F2] Mode を Start に設定します。
21. スレーブ MG3710A の VSG1 において、次の操作を行います。
  - 1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
22. スレーブ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F8] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
23. スレーブ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

### ステップ 3: マスタ VSG1—スレーブ VSG2 間の位相差調整

24. マスタ MG3710A の VSG1 とスレーブ MG3710A の VSG2 の RF 出力をコンバイナで結合し、スペクトラムアナライザに入力します。
25. スレーブ MG3710A の VSG2 において、次の操作を行います。
  - 1. [Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 2. [Level]キーを押して、出力レベルを調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
  - 3. 再度、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
26. スレーブ MG3710A の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Delay を調整し、スペクトラムアナライザでの測定レベルが最小になるようにします。
27. スレーブ MG3710A の VSG2 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F8] Sync Multi SG → [F7] I/Q Phase の値を現在の設定値に対して 180°を加算した値にします。値が 360°を超える場合は 180°を減算した値にします。

この時点で、4 つのチャンネル間の RF 信号の位相差は、最小になります。

28. マスタ MG3710A の VSG1 において、チャンネル#1 の波形データをロード・選択します。
29. マスタ MG3710A の VSG2 において、チャンネル#2 の波形データをロード・選択します。

## 4x4 MIMO (続き)

30. スレーブ MG3710A の VSG1 において、チャンネル#3 の波形データをロード・選択します。
31. スレーブ MG3710A の VSG2 において、チャンネル#4 の波形データをロード・選択します。
32. マスタ MG3710A の VSG1 において、[Mode]キー → [→] (ファンクションメニュー 2 ページ目) → [F2] Start/Frame Trigger → [F8] Trigger Key を実行します。

以上の操作で最後に選択した波形データが位相・タイミングの差が一定かつ最小の状態です出力されます。

### 注 1:

アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器は、あらゆる設定条件で最高の性能を実現するため、周波数やレベルの設定によって信号の経路が最適化されています。そのため、チャンネル間の位相・タイミング調整を行った後に周波数やレベルの設定を変更した場合は、位相・タイミング誤差の調整を再度行う必要があります。ただし、パラメータ「ATT Hold」をオンにしておくと、レベルを変更しても信号の経路は変わりません。

## まとめ

MIMO の評価システムでは、複数の RF 信号間で厳密な位相コヒーレントを実現する必要がある場合があります。アンリツ MG3710A ベクトル信号発生器を使用すると MIMO の評価システムをシンプルに構成でき、簡単に操作できるようになります。

## Note



お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

## アンリツ株式会社

<http://www.anritsu.com>

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町 8-5	
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	
	ネットワーク営業本部	TEL 046-296-1205 FAX 046-225-8357
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-14-1	新宿グリーンタワービル
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
	ネットワーク営業本部	TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央 4-6-1	住友生命仙台中央ビル
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
	ネットワーク営業本部東北支店	TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅 3-20-1	サンシャイン名駅ビル
	計測器営業本部	TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-101	大同生命江坂ビル
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
	ネットワーク営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900 FAX 06-6338-3711
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町 1-10-19	日本生命光町ビル
	ネットワーク営業本部中国支店	TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区櫻田 1-8-28	ツインスクエア
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
	ネットワーク営業本部九州支店	TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用法、その他については、下記までお問い合わせください。

### 計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221, FAX: 0120-542-425

受付時間 / 9:00~12:00, 13:00~17:00, 月~金曜日(当社休業日を除く)

E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1305



■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。