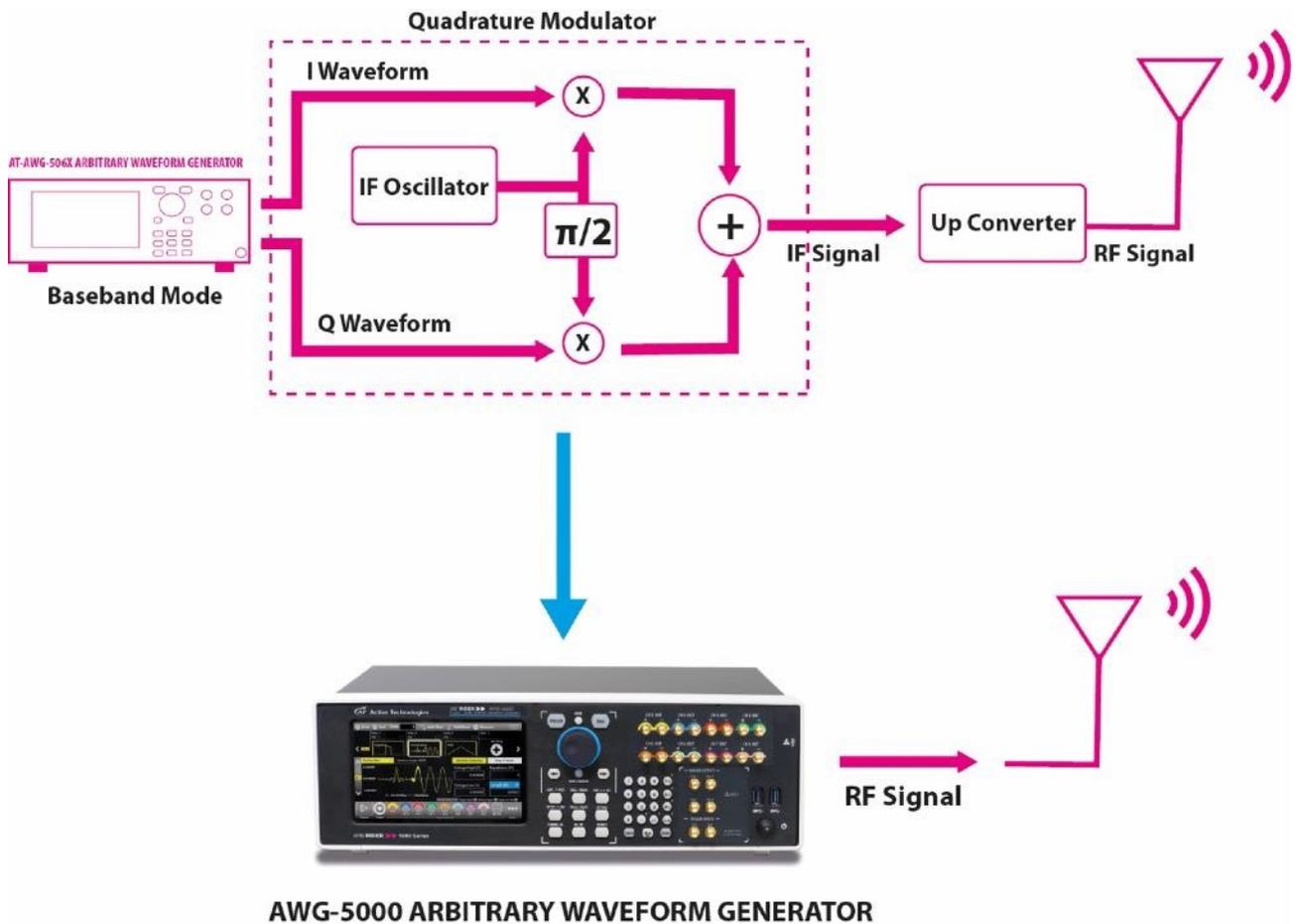


## I/Q 変調器を高速 16 ビット任意波形発生器に統合



### 要約

現代のデジタル通信では、通常、ベースバンド信号はI（同相）とQ（直交）と呼ばれる2つのデジタル信号で構成され、変調器によって結合されます。これが、この種の信号を再生するために、2つの同期チャンネルを備えたAWGが必要な理由です。

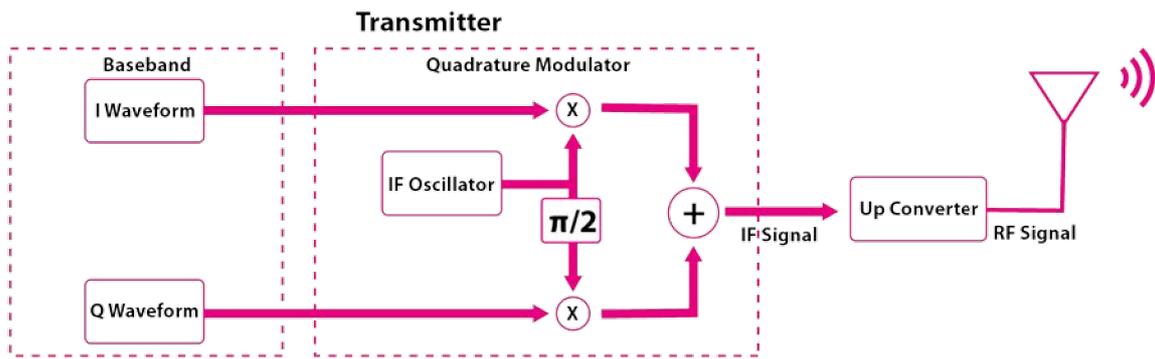


図 1：変調器とアップコンバータへの I,Q 波形

現代の通信はデジタル技術に基づいていますが、出力信号はアナログ信号であり、次のような、その領域の典型的な問題があります：最大 SNR を低下させるデバイスのノイズ、非線形性、直交誤差、シンボル・コンスタレーションの歪みを引き起こす I チャンネルと Q チャンネル間の不均衡、および理論性能の低下。

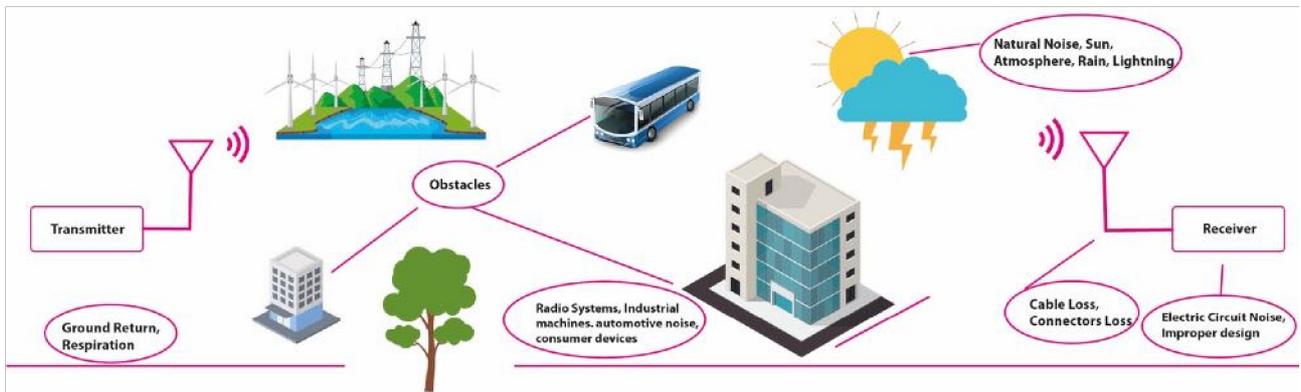


図 2：デジタルコミュニケーションに対する環境の影響

最新の任意波形発生器およびファンクション・ジェネレータは、変調器、復調器、ミキサ、フィルタ、アンプ、低ノイズアンプ (LNA) など、送信または受信チェーンのさまざまな段階をテストするために、あらゆる種類の信号と変調 (QAM、QPSK、DQPSK、PAM) を生成する強力な機器をエンジニアに提供しています。

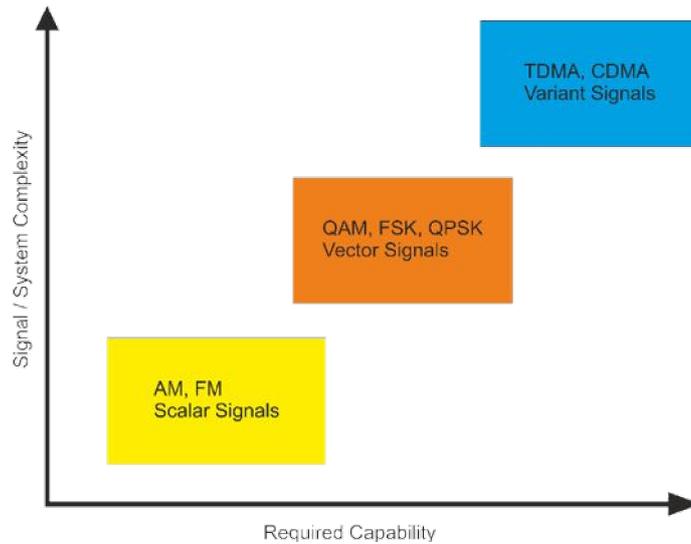


図 3：通信システム

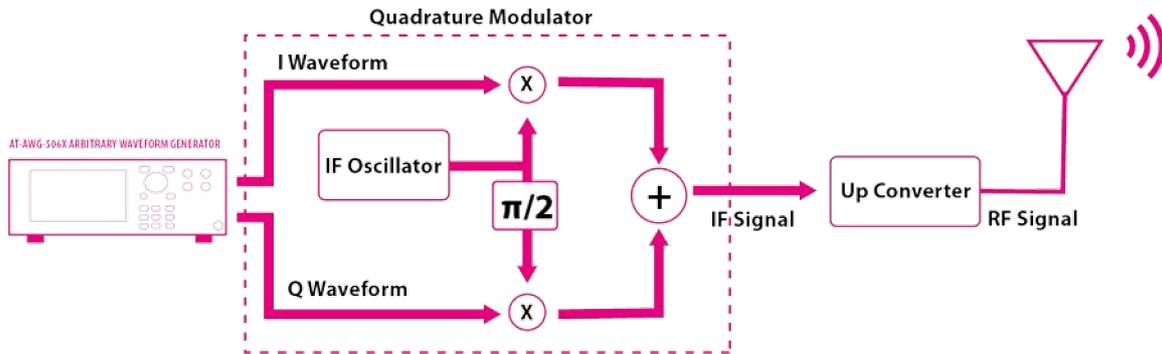


図 4：I,Q 信号を生成するための AWG

このホワイトペーパーでは、内部ミキサとアップコンバータをハードウェアに統合して、Active Technologies ArbRider AWG-5000 の RF モード機能を使用した、量子コンピュータのテスト用の RF ワイヤレス信号と RF パルスシーケンスを作成する方法について説明します。

RF モードは、内部ミキサとアップコンバータをハードウェアに実装しているため、外部計測器のコストを削減し、量子コンピューティングテスト用の RF ワイヤレス信号または RF パルスシーケンスの生成に使用できるチャンネル数を 2 倍にすることができます。

このホワイトペーパーで使用した計器類：

- ・ Active Technologies Arb-Rider AWG-5000 任意波形発生器
- ・ Rohde & Schwarz RTP 164 – 40GS/s16GHz – デジタル・オシロスコープ
- ・ Rohde & Schwarz RTP オシロスコープ向け VSE アプリケーション

## ベースバンド I、Q 生成

Active Technologies Arb Rider AWG-5000 シリーズを使用すると、Matlab または LabView で作成した 2 つの I,Q ベースバンド信号をインポートし、シーケンサに挿入できます。

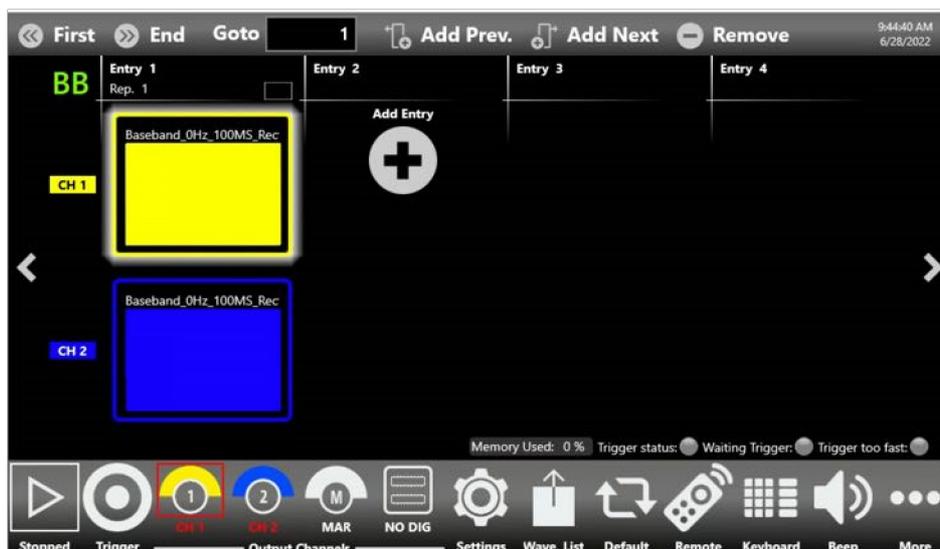


図 5： ベースバンド・モードでの True-ARB ユーザーインターフェース

CH1 と CH2 に挿入される 2 つのベースバンド波形は、シンボル・レートが 100MHz の 16-QAM デジタル変調信号です。

適用されるパターンは PRBS-7 で、フィルタの形状は長方形です。

下のスクリーンショットでは、Arb Rider AWG-5000 世代の結果を見ることができますが、2 つのチャンネルは完全に同期しており、シンボル・レートは 100MHz です。

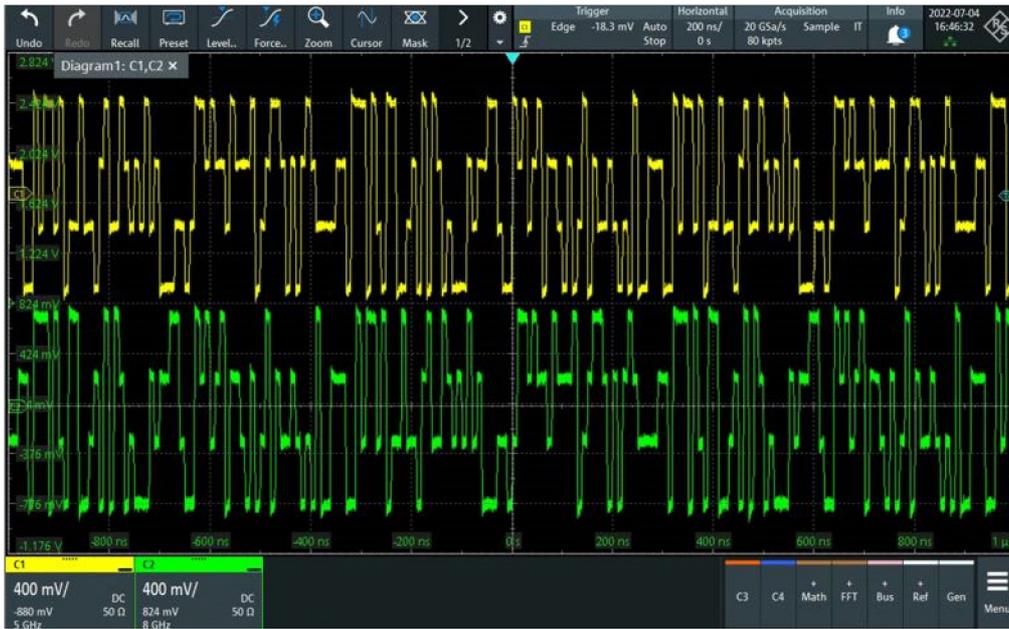


図 6 : 16QAM I,Q ベースバンド信号

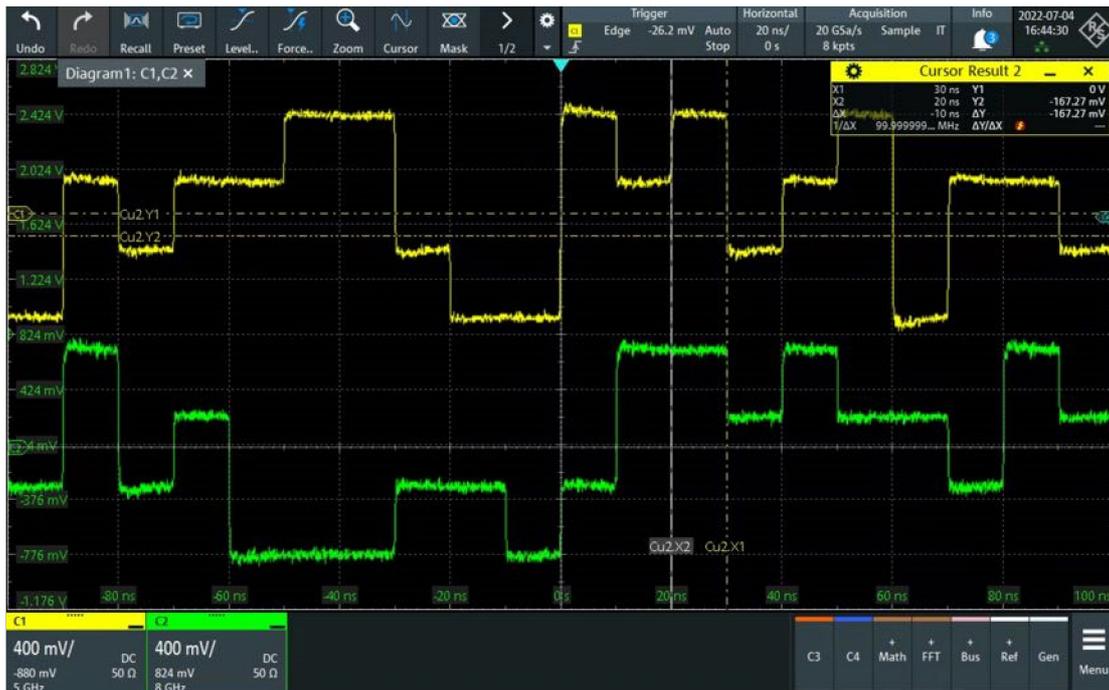


図 7 : 16QAM I,Q ベースバンド信号

## IF/RF 生成

I-Q 信号は、不要な歪みを加える可能性のある外部変調器を使用して組み合わせることができますが、さらに、分析中の変調方式を変更する場合は変調器を交換する必要があります。

AWGによる直接的なRF/IFの合成は、上記の問題を克服することができます。

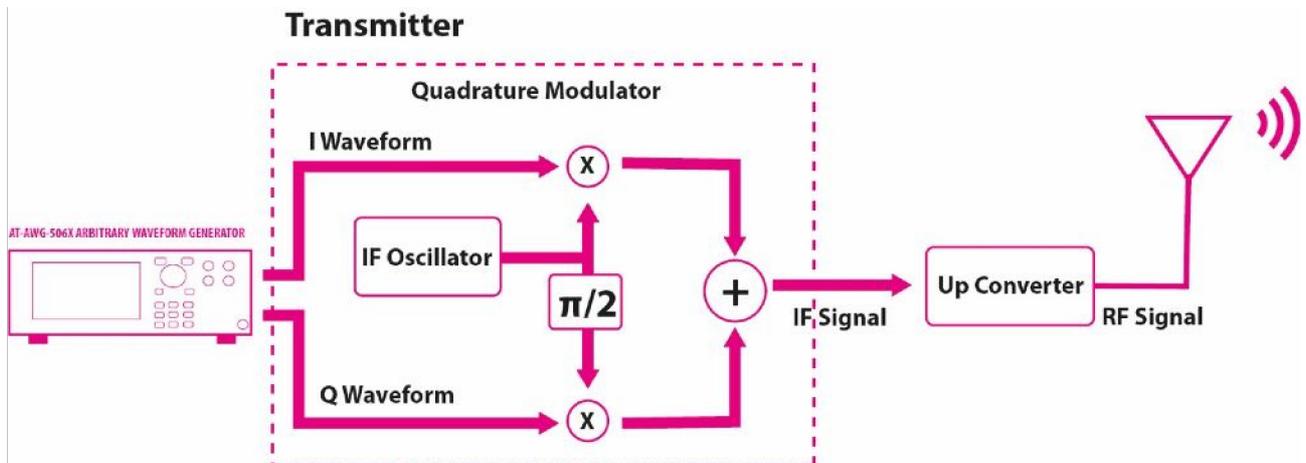


図 8 : AWG+トランスミッタ+アップ・コンバータ・システム

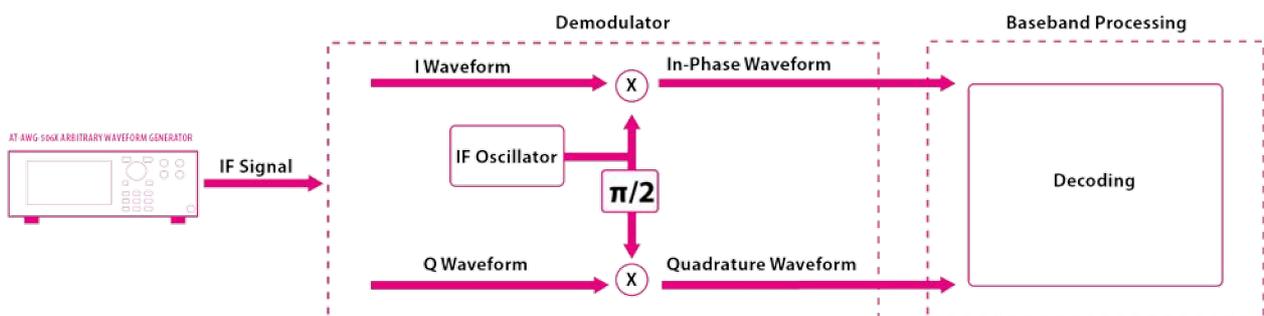


図 9 : IF 信号の復調

NI Labview®、Python、Matlab / Simulink®などのソフトウェアを使用すると、不完全性を加算し、最終的にその結果をAWGメモリにロードすることで、RF/IF変調信号を直接生成することができます。ベースバンド・モードのArb Rider AWG-5000シリーズは、6.16GS/sのリアルタイム・サンプリング・レートを持ち、4倍以上のオーバーサンプリングを考慮して最大2GHzのIF信号を直接生成できるため、良好なスペクトラム品質の信号が得られます。

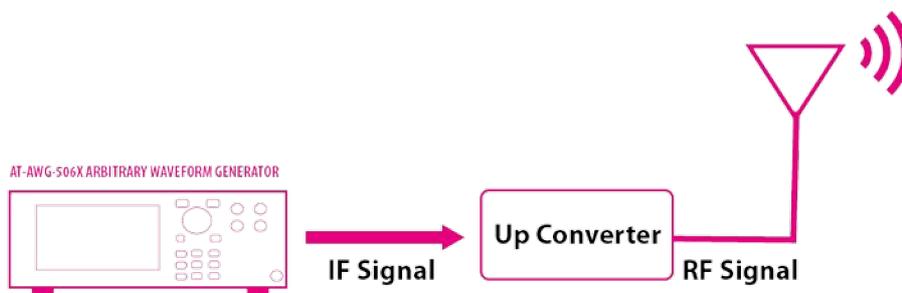


図 10 : AWG-5000 シリーズでの IF 信号の生成

このテストケースでは、Matlab を使用して、16QAM、200MHz オフセット、ベースバンド 100MS/s の特性を持つ IF 信号を作成し、Arb Rider AWG-5000 シーケンサに挿入しました。

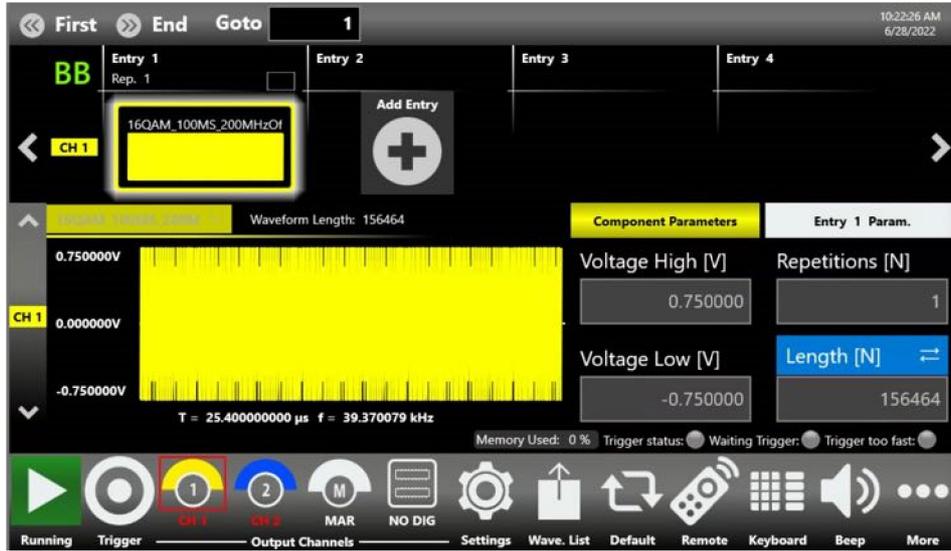


図 11：IF 信号生成用の真の Arb UI



図 12：16QAM IF 信号 – オシロスコープ Rohde&Schwarz RTP164 -

オシロスコープのスクリーンショットは、キャリア周波数が 200MHz の IF 信号の生成を示しています。信号は、外部アップコンバータに直接送信できます。

さらに、Active Technologies の AWG-5000 シリーズには、IF 信号と RF 信号を直接生成するために開発された RF モードと呼ばれるオプションがあります。

この例では、RF モードを使用して、Matlab または LabView ソフトウェアから IF 信号をインポートすることなく IF 信号を作成します。

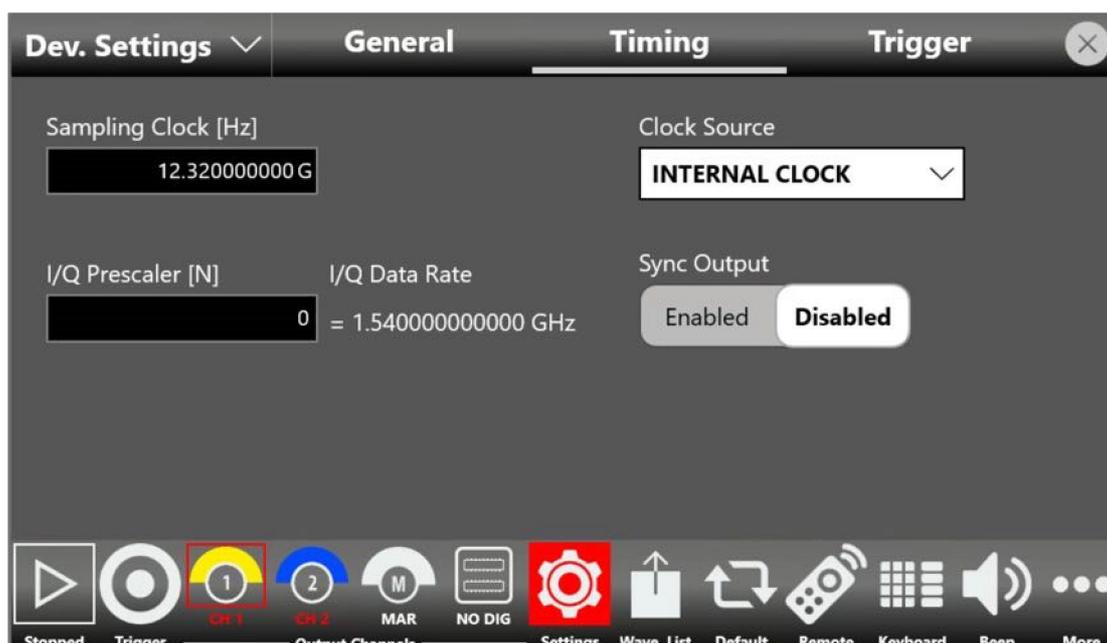


図 13 : RF モードのタイミング設定

RF モードを使用すると、I,Q ベースバンド信号をシーケンサの CH1-I<sub>0</sub> および CH1-Q<sub>0</sub> エントリ 1 に簡単にロードできます。

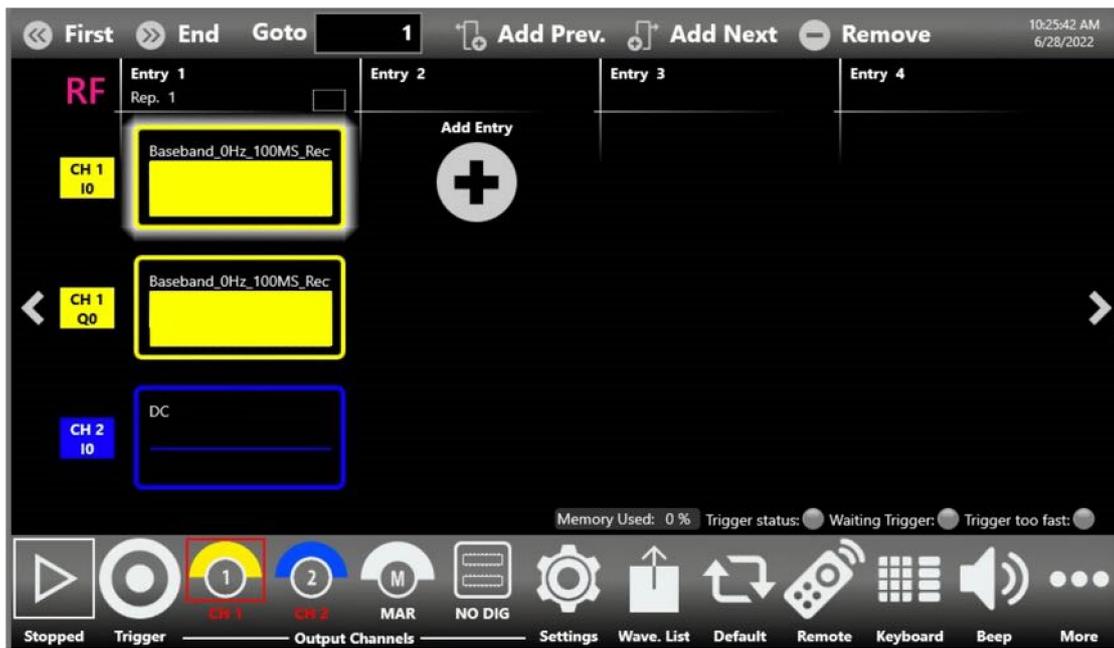


図 14：RF モードの True-Arb UI

この時点で、搬送波を要求された IF 周波数（この場合は 200MHz）に設定できます。

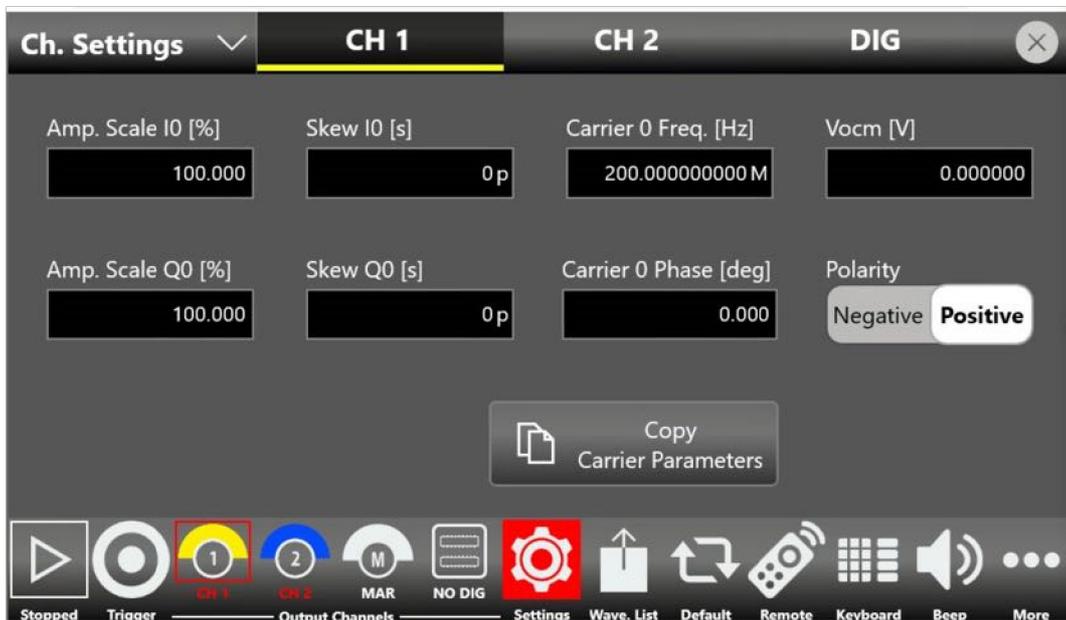


図 15：RF モード チャンネル設定



図 16 : AWG-5000 シリーズで RF モードを使用して生成された IF 信号  
 |DSO Rohde&Schwarz RTP164

### RF モードでの RF ワイヤレス信号の生成

AWG-5000 シリーズ任意波形発生器は、6.16GS/s のリアルタイム・サンプリング・レートのベースバンド・モード、または 12.32GS/s の補間サンプリング・レートの RF モードで動作します。

RF モードを使用すると、RF ワイヤレス信号と最大 6GHz の変調パルスを生成できます。内部変調器とアップコンバータにより、1つまたは2つのキャリア（シングルおよびダブルキャリアモード）で RF 信号を生成できます。このモードを使用すると、2つの周波数を簡単に切り替えて、異なるチャンネル間の振幅やスキューなどの障害をリアルタイムで追加することができます。

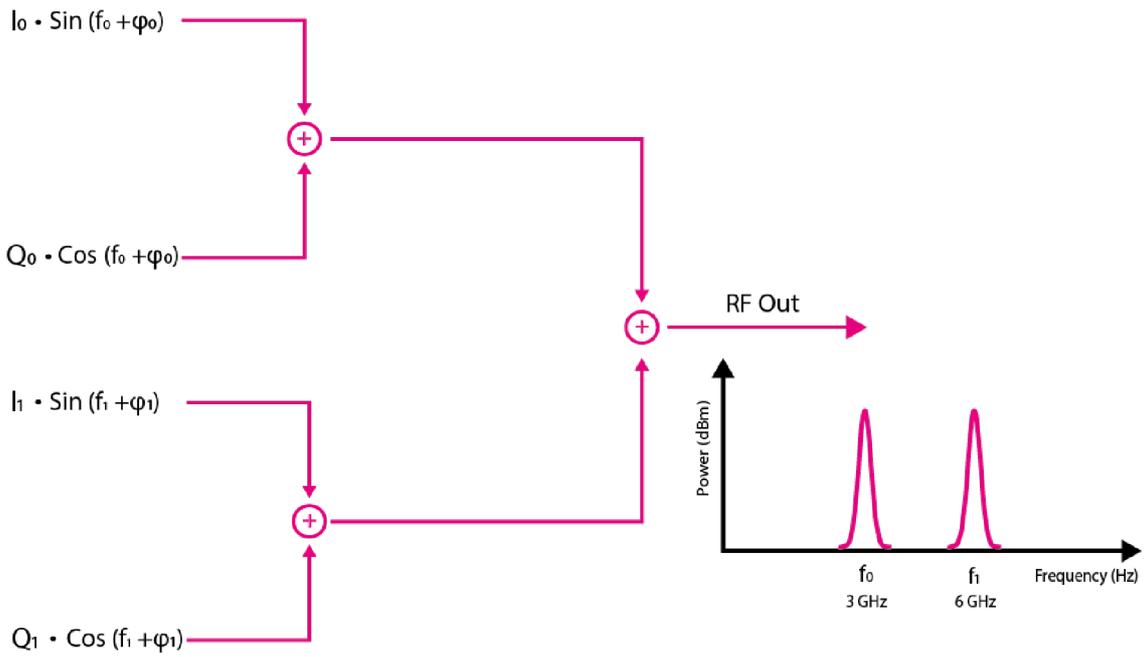


図 17 : RF モードのブロック図

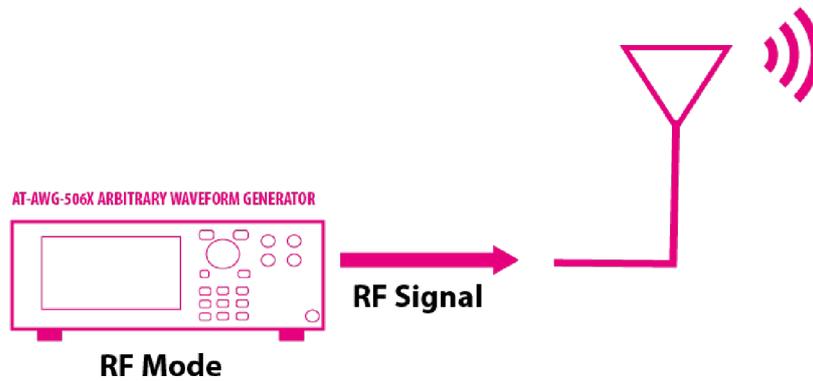


図 18 : AWG-5000 シリーズによる RF 信号の生成

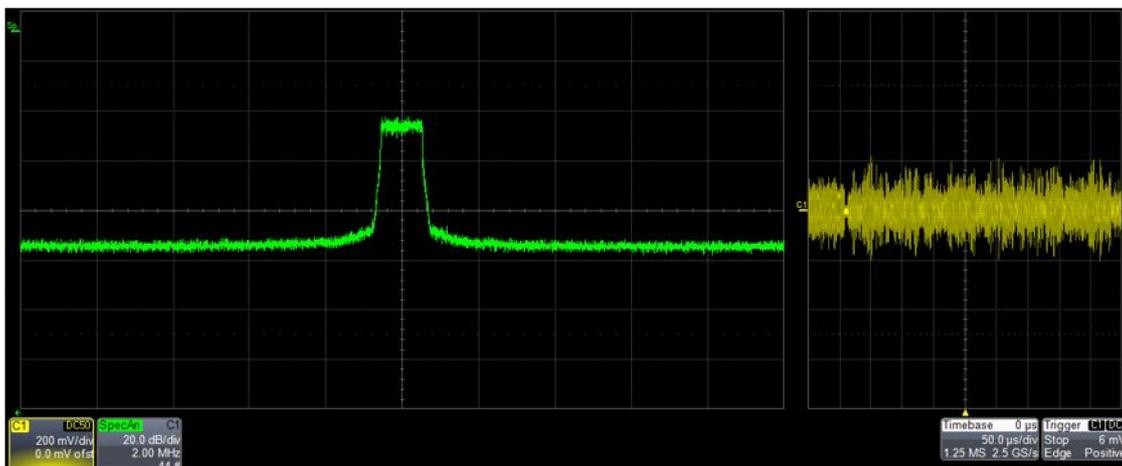


図 19 : RF 信号

次の例は、RF モードを使用して、外部変調器とアップコンバータを必要とせずに 2GHz と 4GHz の搬送周波数の RF 信号を生成する方法を示しています。

2つの I,Q ベースバンド信号は、シーケンサの CH1-I<sub>0</sub> および CH1-Q<sub>0</sub> エントリ 1 にロードされ、搬送周波数は 2GHz に設定されています。



図 20 : 2GHz キャリア

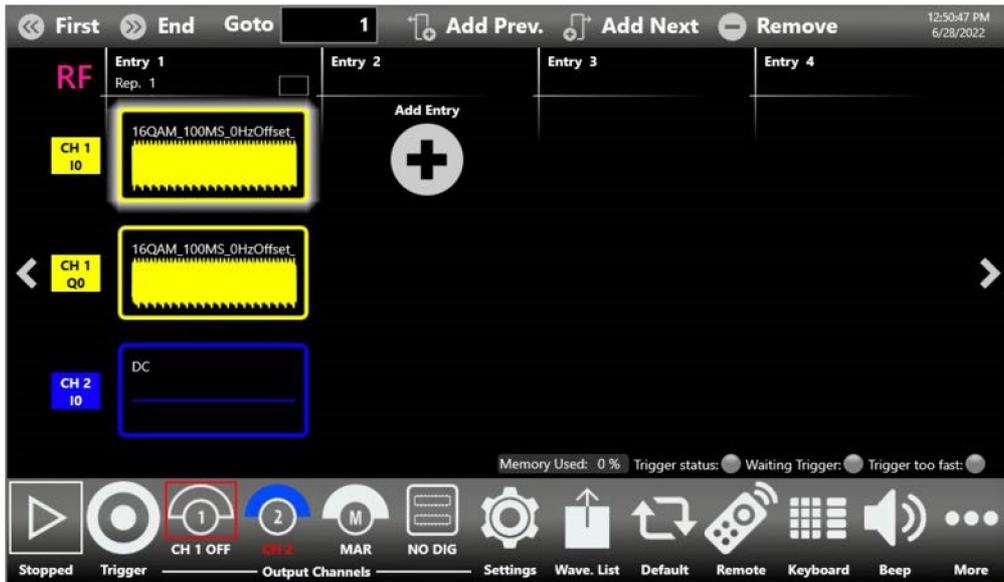


図 21：シーケンサに I,Q 信号をロードする True-Arb



図 22：AWG-5000 シリーズの RF モードで生成された RF 信号 | DSO Rohde&Schwarz RTP164

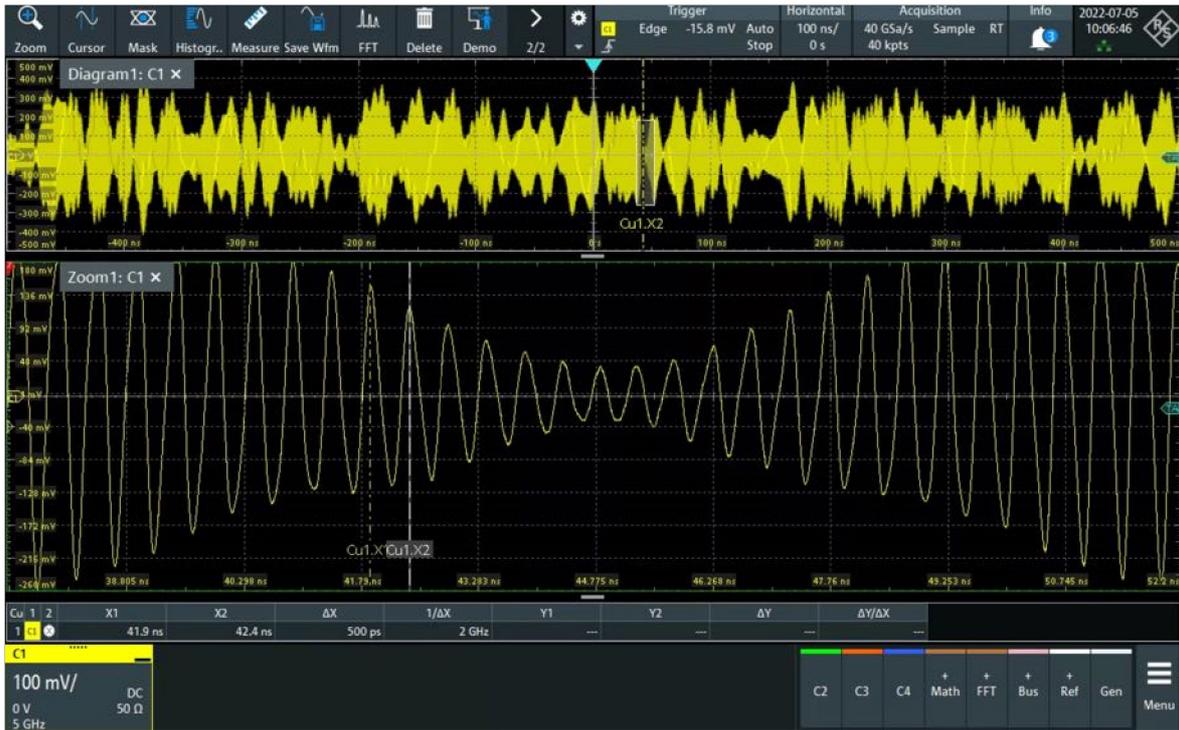


図 23 : 2GHz キャリアの RF 信号

これで、キャリアの周波数が 4GHz に変更されました。



図 24 : 4GHz に設定されたキャリア



図 25 : AWG-5000 を使用した 4GHz キャリアの RF 信号 |DSO Rohde&Schwarz RTP164



図 26 : 4GHz キャリアの RF 信号 - ズームイン -

Rohde&Schwarz RTP164 – 40GS/s、16GHz BW オンロスコープと R&S VSE アプリケーションにより、RF 信号を復調することができます。

下のスクリーンショットでは、矩形形状フィルタで得られた 16QAM のシンボル・コンスタレーションを確認できます。

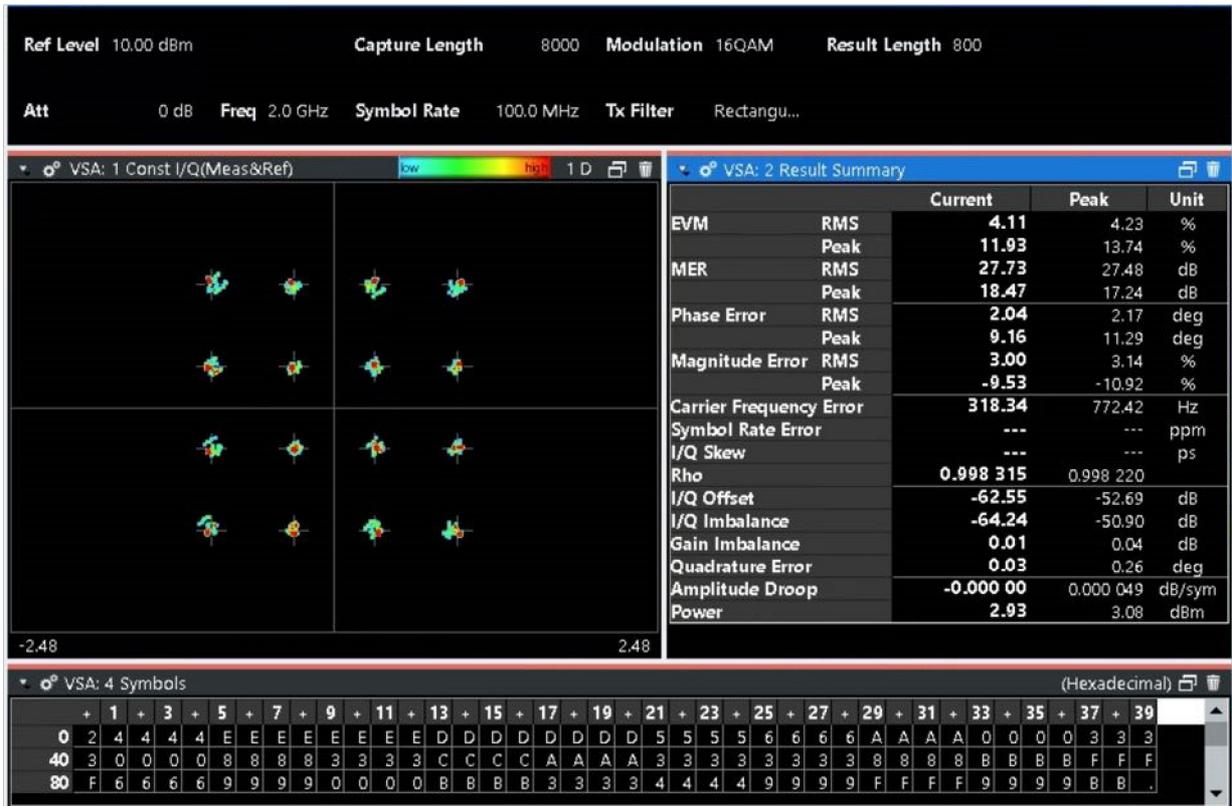


図 27 : 16QAM コンスタレーション

|AWG5000 で生成された信号、VSE オプション付きの R&S RTP 164 によるデータ解析

チャンネル間のスキューをリアルタイムで変更したり、30 度の直交誤差を挿入したりして、損失を追加することができます。

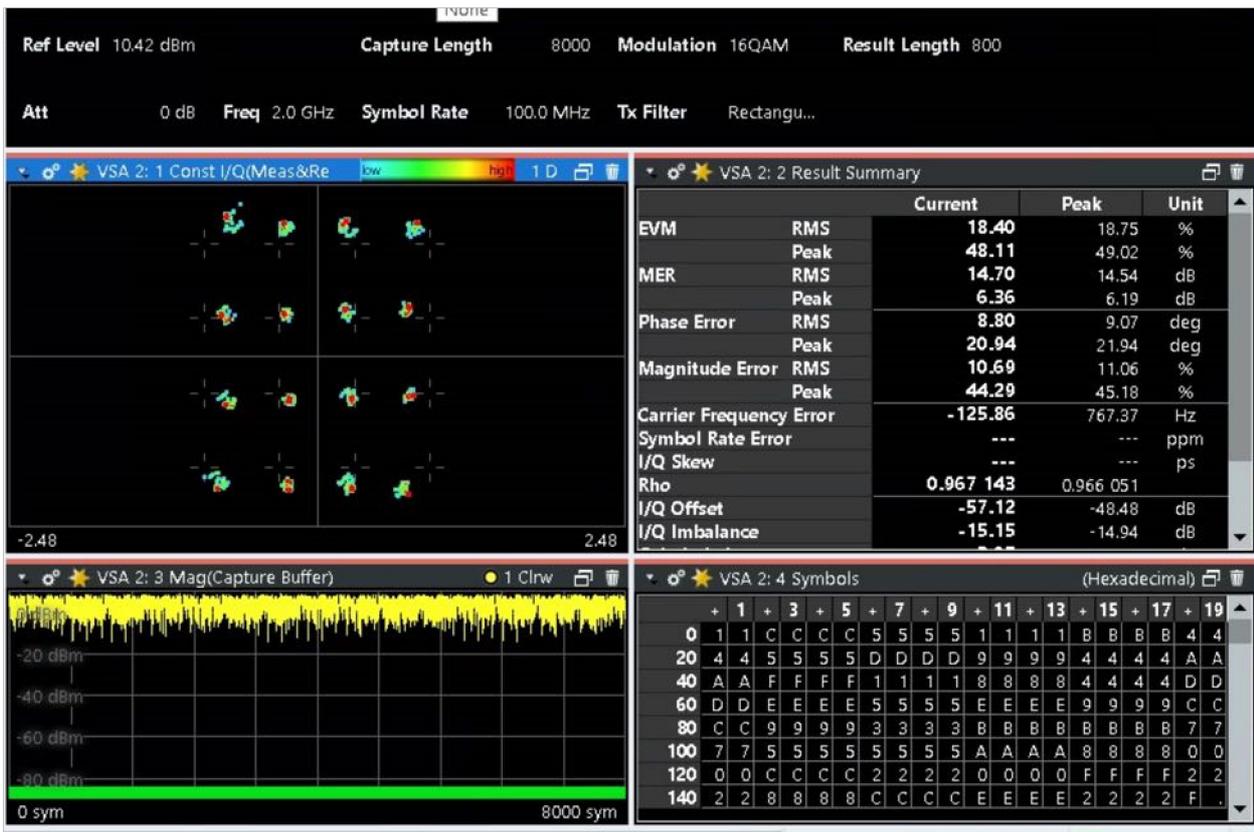


図 28：チャンネル・スキューエラーを持つ 16QAM コンスタレーション  
|AWG5000 による信号生成、R&S RTP 164 によるデータ解析 (VSE オプション付き)

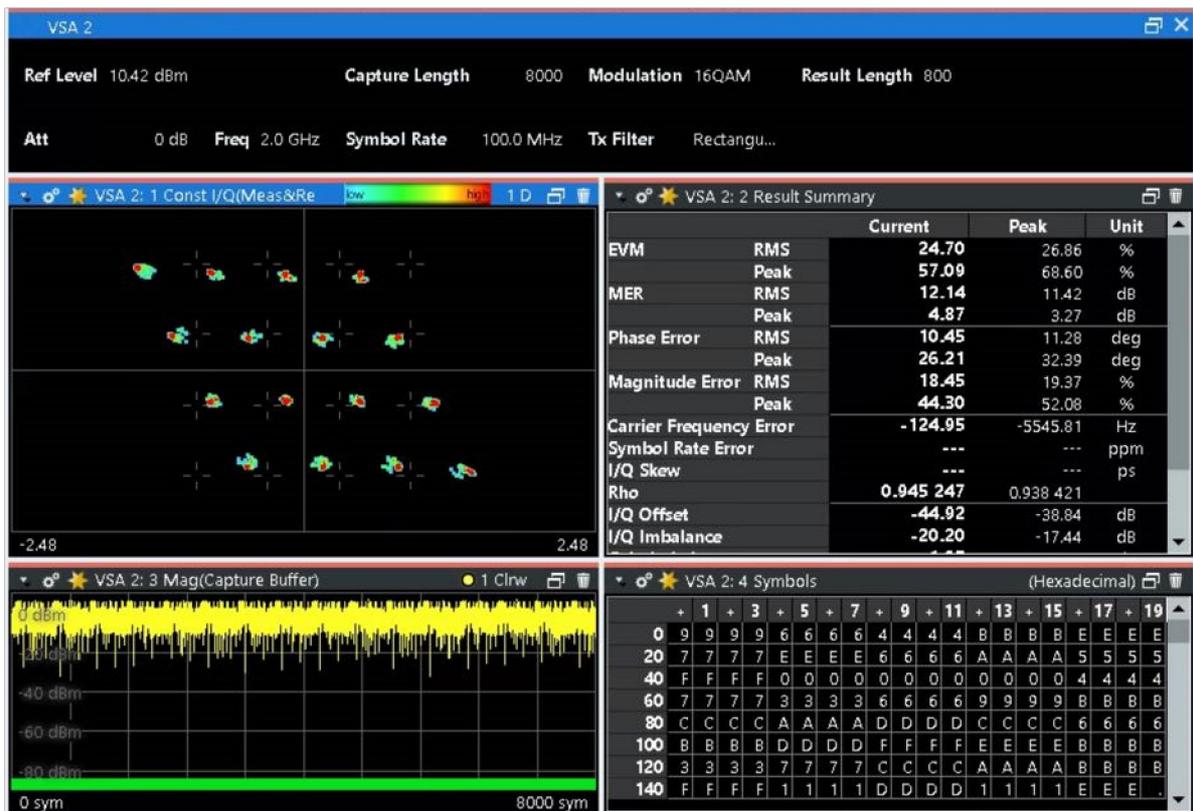


図 29 : I,Q 直交誤差のある 16QAM コンスタレーション

[AWG5000 による信号生成、R&S RTP 164 によるデータ解析 (VSE オプション付き)]

## M-PSK 法を使用した信号の生成

位相偏移変調 *PSK* は、特定の時間に正弦波と余弦波の入力を変化させることによって、搬送波信号の位相を変化させるデジタル変調技術です。PSK 技術は、RFID および Bluetooth 通信とともに、無線 LAN、生体認証、非接触操作などに広く使用されています。

Arb Rider AWG-5000 RF モードを使用すると、外部直交変調器とアップコンバータを必要とせずに RF 8-PSK 信号を生成できます。

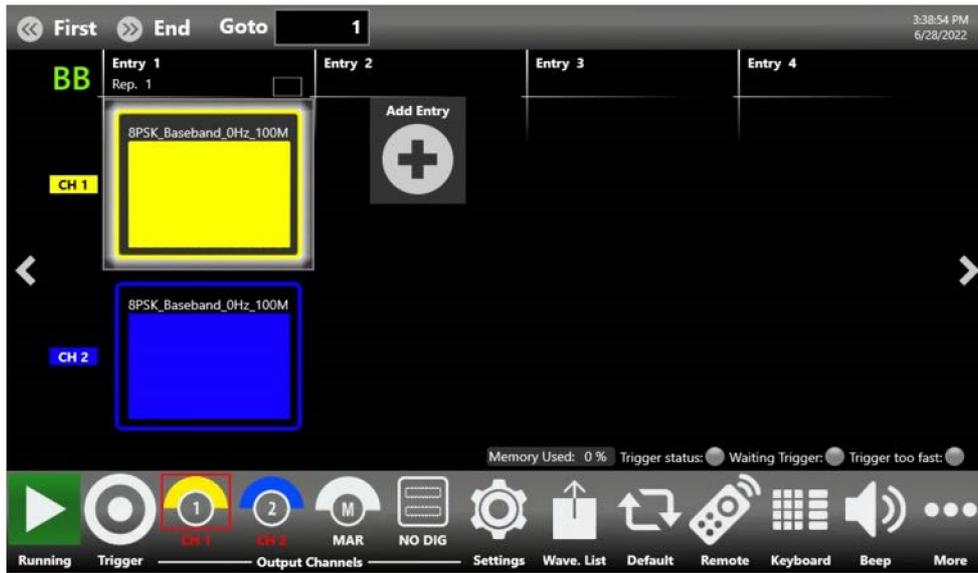


図 30 : True-Arb UI 8PSK ベースバンド信号

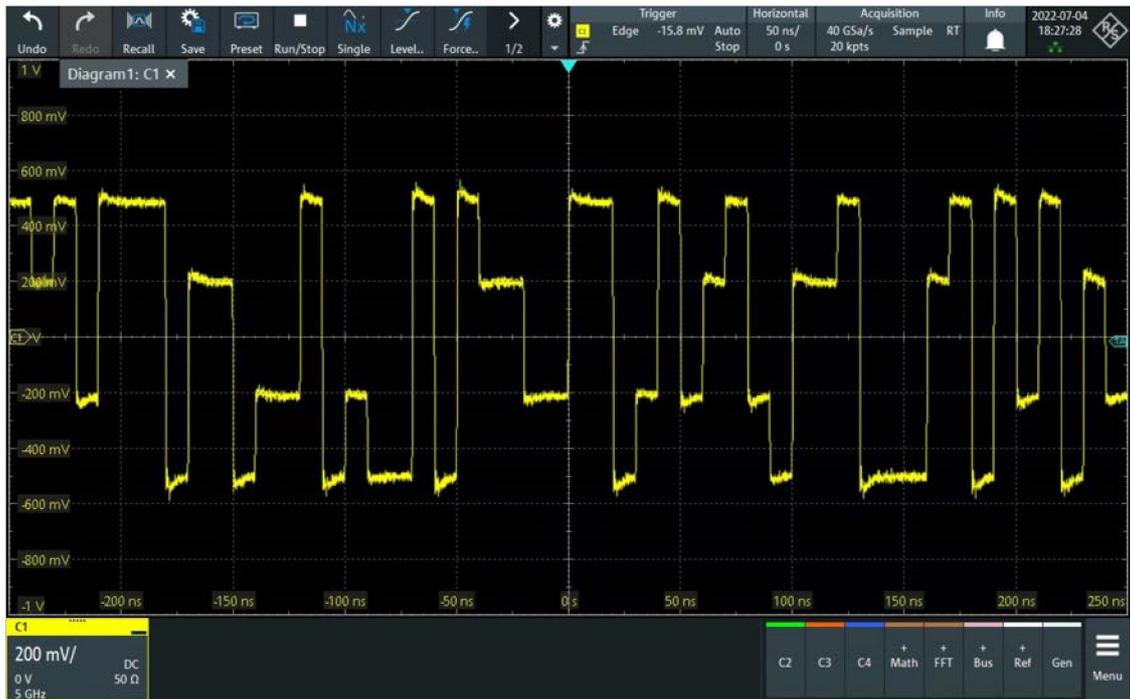


図 31 : 8PSK ベースバンド信号

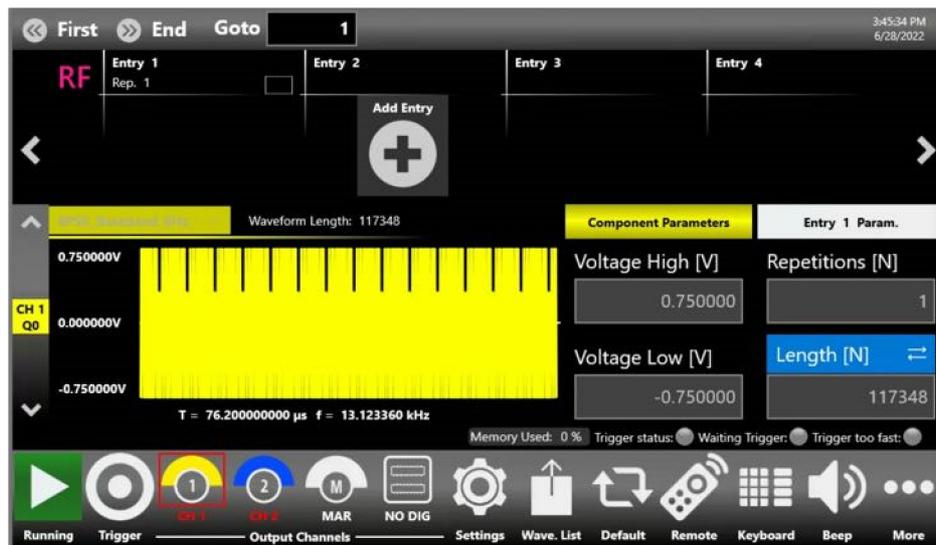


図 32 : RF モードでの True-Arb 8PSK

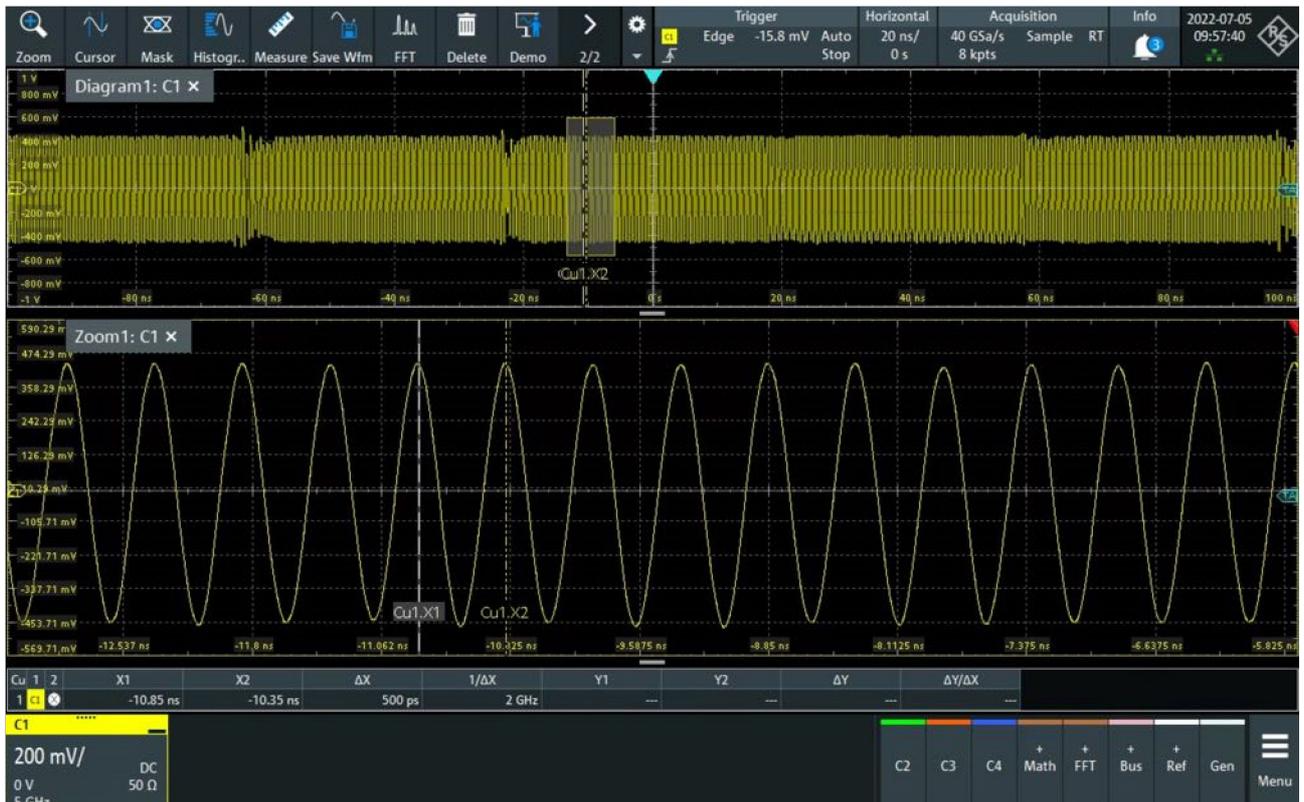


図 33 : AWG-5000 シリーズが RF モードで生成した 8PSK RF 信号 | DSO R&S RTP 164

Rohde&Schwarz RTP オシロスコープと VSE オプションを使用すると、RF 信号を復調することができ、オシロスコープのスクリーンショットに 8-PSK のコンスタレーションが表示されます。

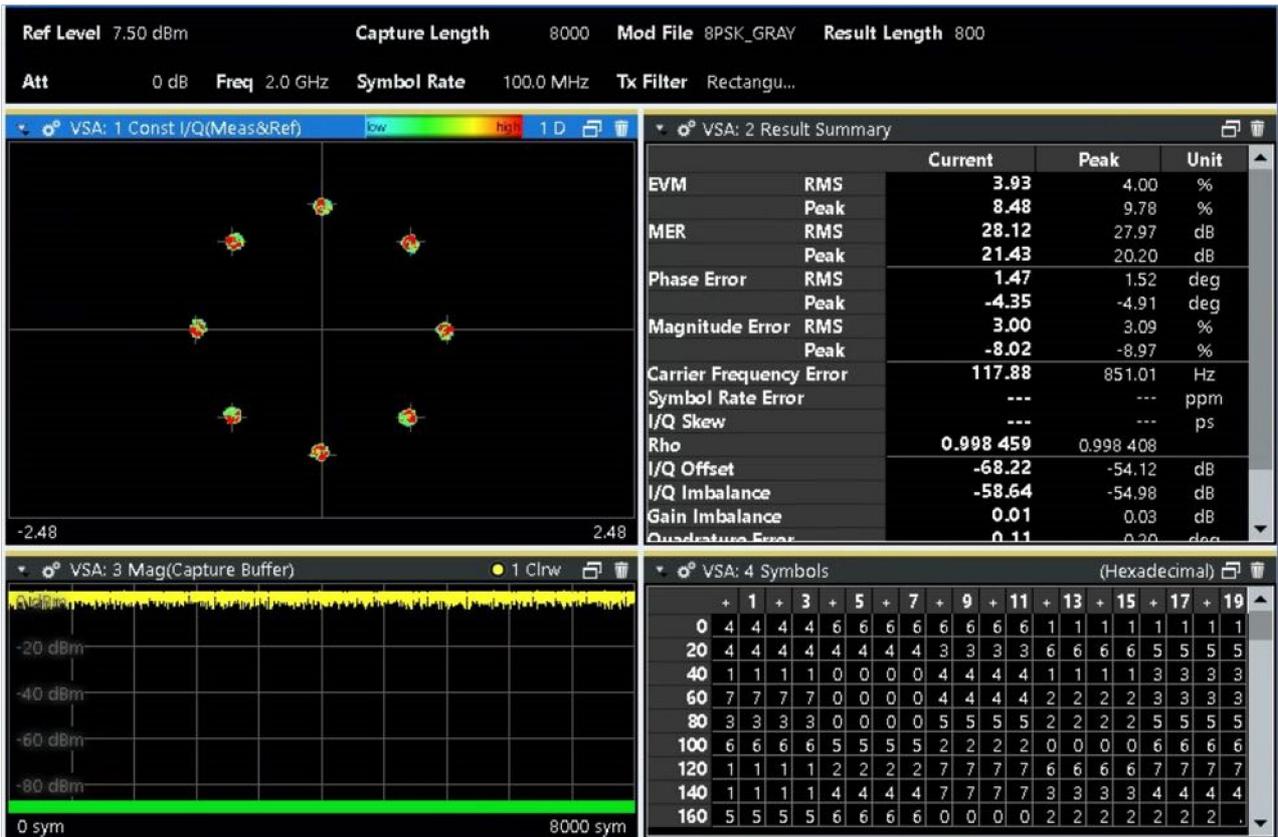


図 34 : 8PSK コンスタレーション

|AWG5000 で生成された信号、VSE オプション付きの R&S RTP 164 によるデータ解析

I/Q 直交誤差などの障害を簡単に印加することが可能です

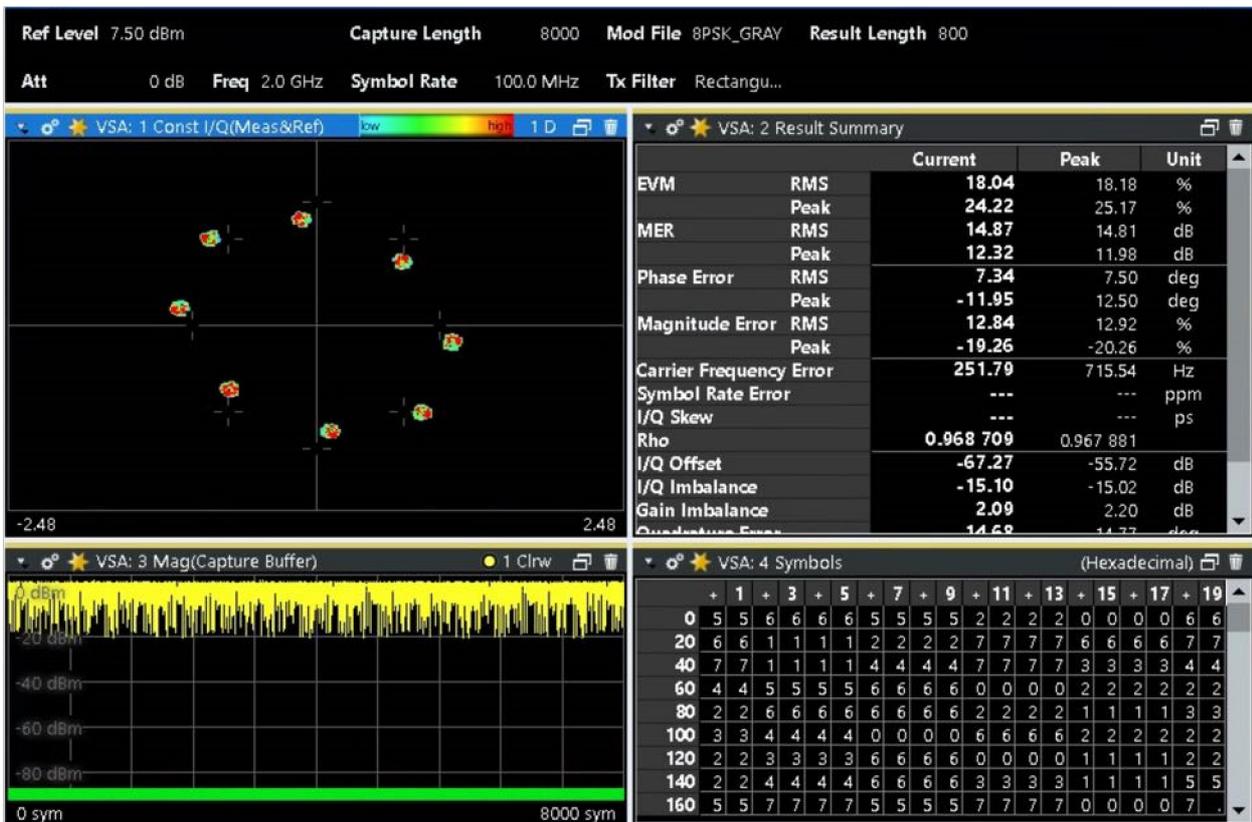


図 35：直交誤差のある 8PSK

|AWG5000 で生成した信号、VSE オプションを使用した R&S RTP 164 によるデータ解析

## 量子技術

量子コンピュータは非常に複雑なシステムであり、各量子ビットには複雑なタイミングの RF パルスシーケンスが必要です。

システム内の量子ビットの数は急速に増加しており、通常、各量子ビットには 2 つの AWG チャンネルが必要です。

RF パルスシーケンスは 4~10GHz の範囲であるため、外部ミキサとアップコンバータも必要です。これらすべての要件がスケーラビリティの問題に影響しており、今日ではテストの構成を簡素化し、コストを節約することが基本となっています。

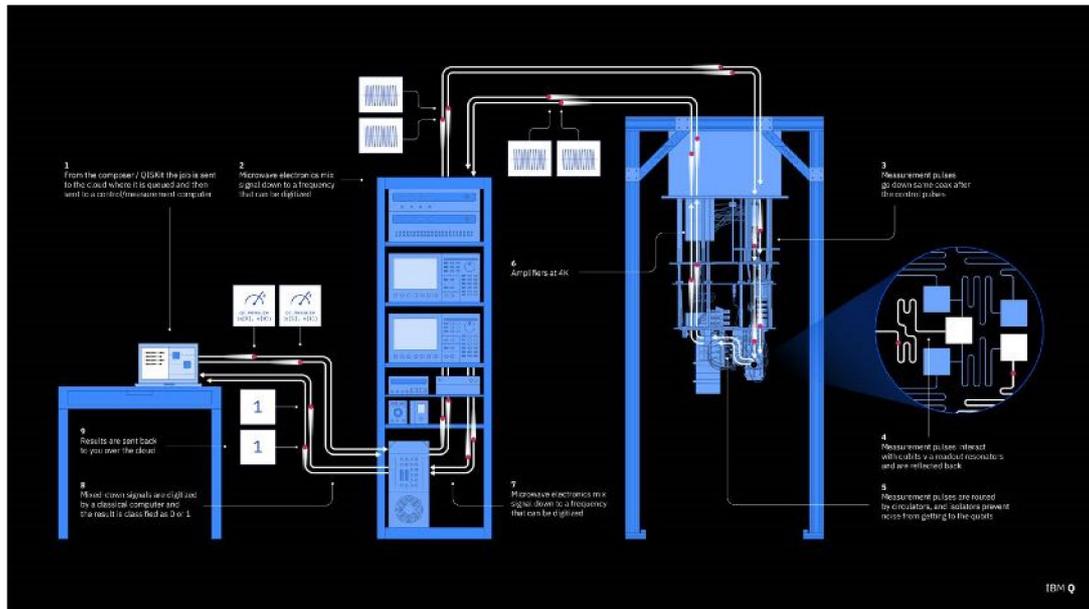


図 36：量子コンピューティングのブロック図

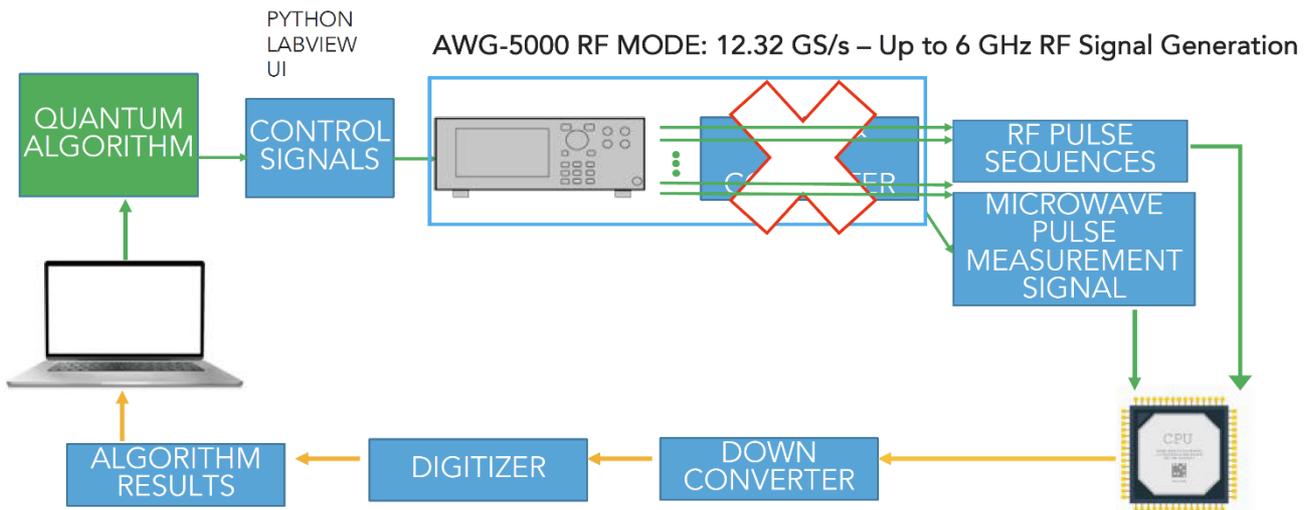


図 37：AWG-5000 を RF モードで使用した場合の量子コンピューティングのブロック図

量子コンピューティングでは、実験は、デコヒーレンスを誘発する環境から量子状態をデカップリングするためのパルスシーケンスを作成するのに役立ちます。

最も一般的なパルスシーケンスは、Carr Purcell Meiboom Gill および Uhrig デカップリング・シーケンスと呼ばれ、 $\pi/2$  パルスとそれに続く  $N \pi$  で構成されます。

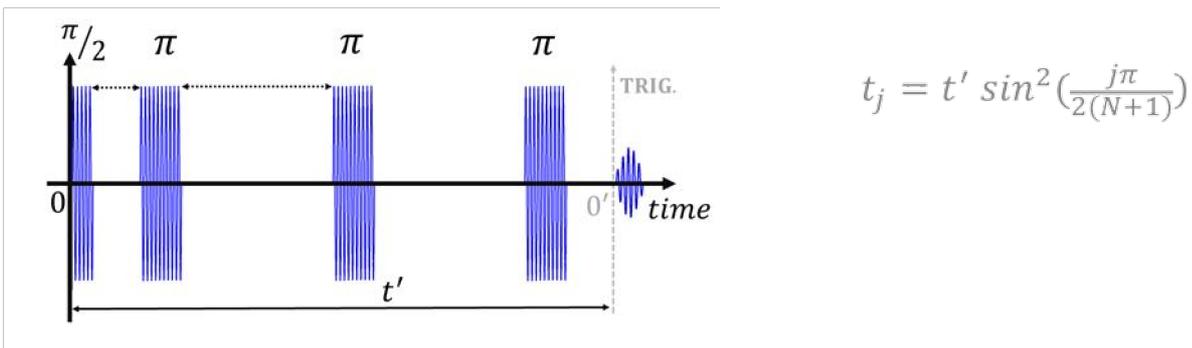


図 38 : Uhrig デカップリング・シーケンス

Active Technologies の波形エディタを使用すると、ベースバンドのパルスシーケンスを作成することができます

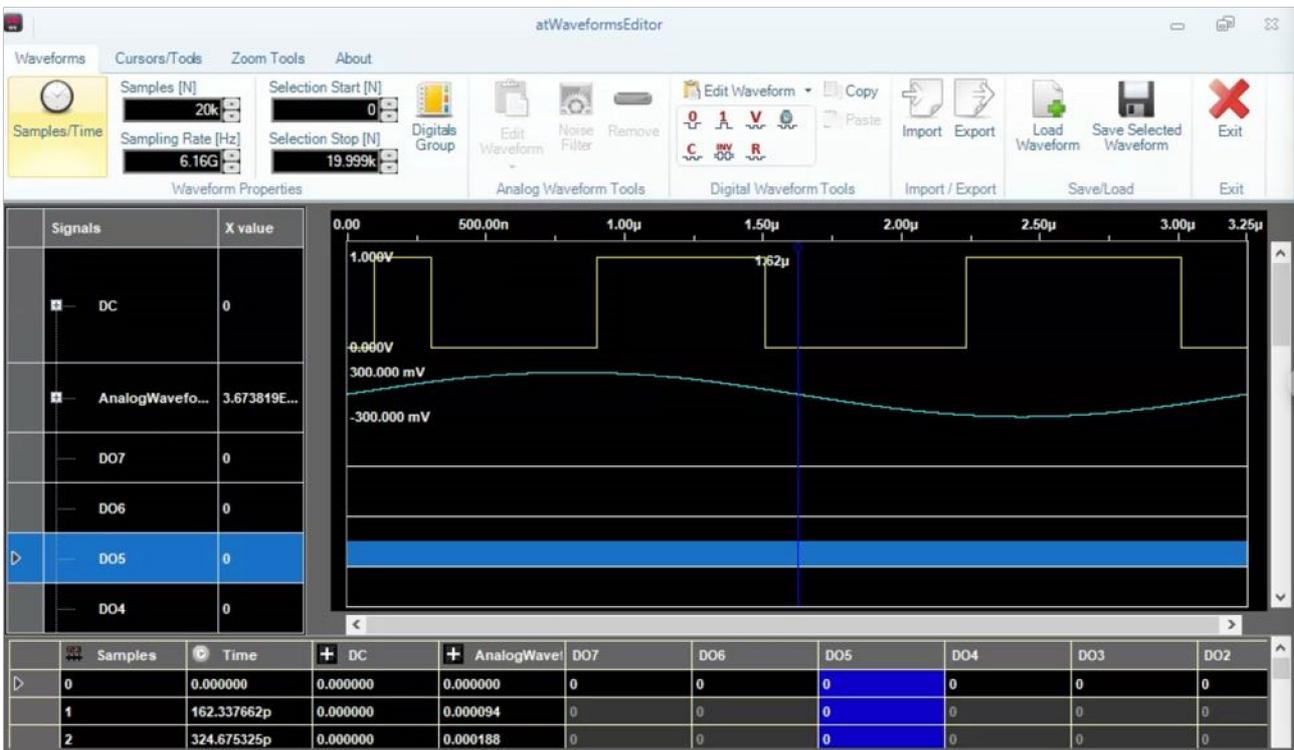


図 39 : Active Technologies の波形エディタ

Arb Rider AWG-5000 シリーズでは、パルス波形を作成した後、RF モードを使用してベースバンド信号を最大 6GHz まで変調およびアップコンバートできます。

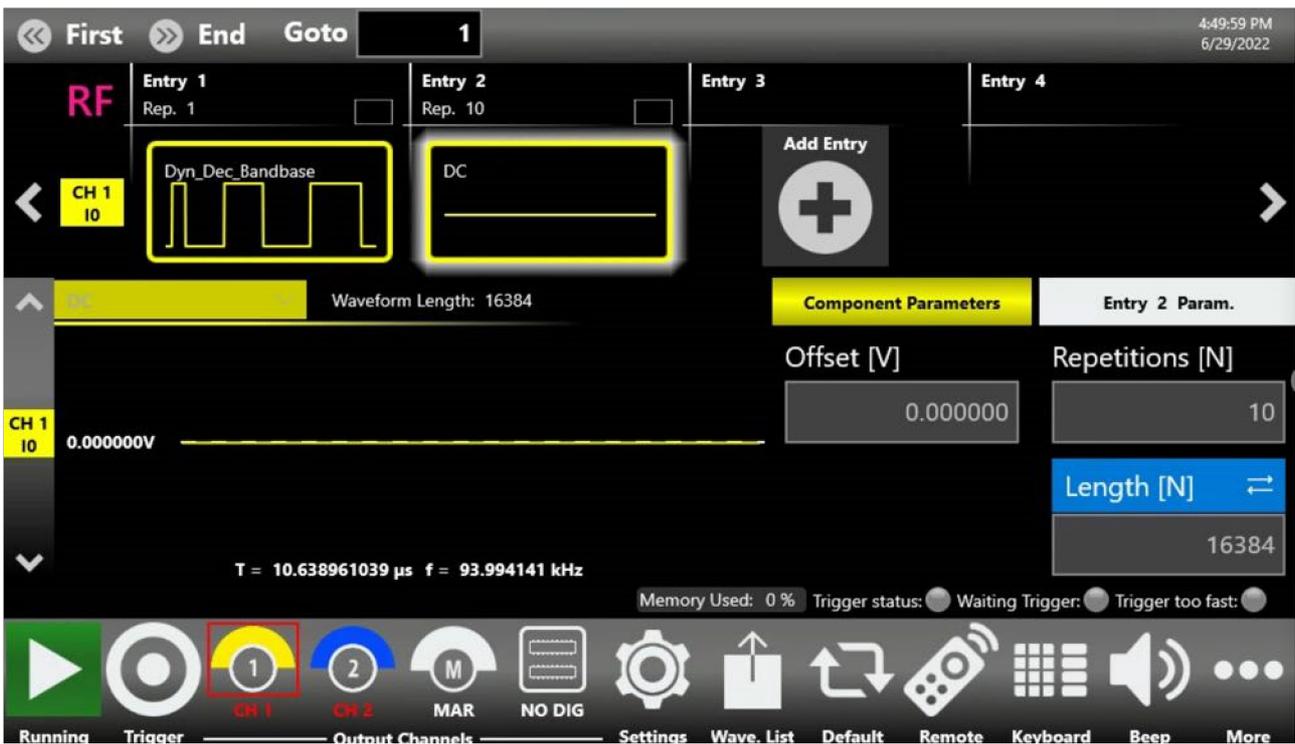


図 40：パルスシーケンス生成用の True-Arb



図 41：RF ダイナミック・デカップリング・パルスシーケンス

この機能を使用して、2GHzのキャリアで変調された Uhrig デカップリング・シーケンス RF を簡単に作成できます。

## チャンネル間の同期

量子シーケンス生成における主要なタスクの1つは、忠実度が高く正確な信号源を生成する能力です。

Arb Rider AWG-5000 は、1台のデバイスで最大8つのアナログ信号を生成したり、完全に同期したマルチ計測器システムで最大32の信号ソースを生成したりできます。さらに、1つのアナログ出力チャンネルのスキューを<100fsの分解能で制御することが可能です。



図 42 : Active Technologies のマルチ計測器システム

## 結論

Active Technologies AWG-5000 シリーズに採用されているような任意波形発生器の最新技術により、直交変調器とアップコンバータを1つの計測器に統合することができます。

このソリューションにより、RF、ワイヤレス、量子コンピューティングなど、チャンネル密度が重要な要素になりつつある複雑なシステムで使用可能なチャンネル数を2倍に増やすことができます。

さらに、テストの構成を簡素化し、T&M 機器のコストを削減できます。

※ 製品を廃棄する場合には、地方自治体の条例・規則に従って廃棄してください。

● 製品改良等により、外観および性能の一部を予告なく変更することがあります。

● ここに記載した内容は、2023年8月現在のものです。

※ 社名、商品名等は各社の商標または登録商標です。

● お問い合わせは、下記当社営業部および営業所または取次店へお問い合わせください。

● 価格は変更の可能性があります。ご注文の際にはご確認を頂きますようお願い申し上げます。