

さまざまなアプリケーションでのスペクトラム DDS モードの使用

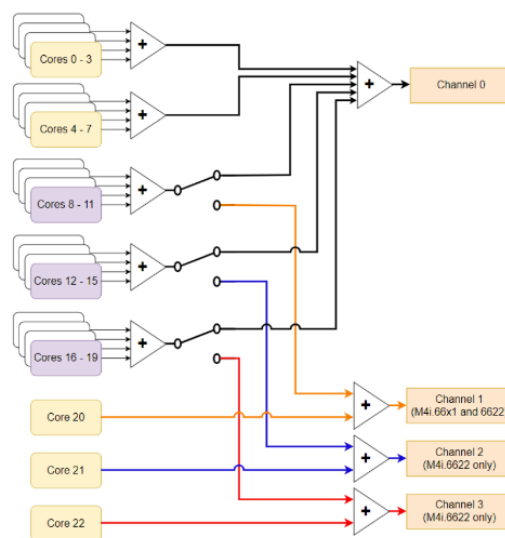
任意波形発生器(AWG)は、電子テストに利用できる最も強力な柔軟な信号源の 1 つです。AWG は、発生器の帯域幅と波形メモリの長さの範囲内で、ほぼ無限の数の波形を生成できます。AWGを入手したら、有用な波形で埋める必要があります。AWG用のアプリケーション・サポート・ソフトウェアにより、方程式を使用して高精度で解析的に波形を作成したり、デジタイザやデジタル・オシロスコープを使用してキャプチャして再生したりできます。テスト波形の作成、取込、変更、転送にかかるコストは非常に高額になるため、プロセスを簡素化するツールは非常に貴重です。

スペクトラム・インスツルメンテーションは、16ビット任意波形発生器(AWG)用のダイレクト・デジタル・シンセシス(DDS)ファームウェア・オプションをリリースしました。DDS は、単一の固定周波数基準クロックから周期波形を生成する方法です。スペクトラム・インスツルメンテーションの AWG 用 DDS オプションは、複数の「DDS コア」を使用して、各キャリアが明確に定義された周波数、振幅、位相を持つマルチキャリア(マルチトーン)信号を生成します。図 1 は、最大 1.25GS/s、400MHz の信号帯域幅を持つ M4i.66xx シリーズ AWG での DDS 信号生成のアーキテクチャを示しています。

DDS オプションの信号ルーティングにより、使用可能な DDS コアと出力チャンネル間のさまざまな接続が可能になり、最大限の柔軟性が得られます。M4i.66xx シリーズ用に最初にリリースされた DDS オプションでは、合計 23 個の DDS コアがあり、最大 20 個の DDS コアを 1 つのチャンネルに配線できます。

正弦波出力のプログラミング

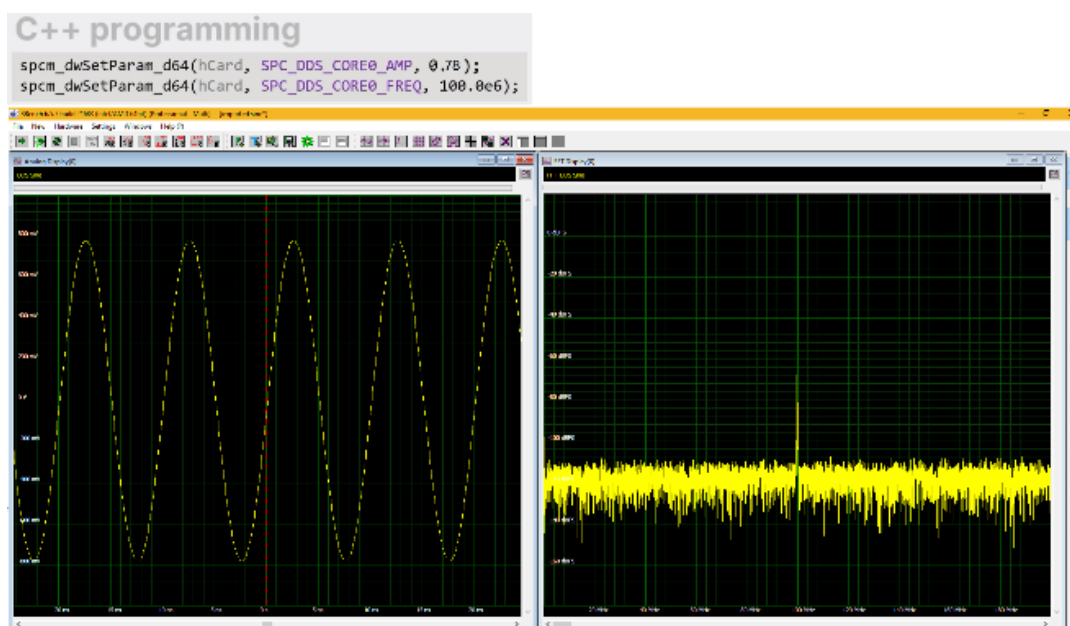
DDS オプションは、波形作成において大きな利点を提供します。AWG の波形は、ポイントごとに記述する必要があります。1 メガサンプルの波形がある場合、その波形のすべての電圧値を計算して波形メモリに保存する必要があります。これに対し、DDS



4 チャンネル AWG M4i.6622-x8 の例を示す DDS オプション

は、複数の DDS コアを追加して、周波数、振幅、位相を個別に制御するマルチキャリア(マルチトーン)信号を AWG 出力に生成することによって実装されます。

の正弦波は簡単なコマンドで記述されます。図 2 は、100MHz の正弦波を生成する方法の例を示しています。



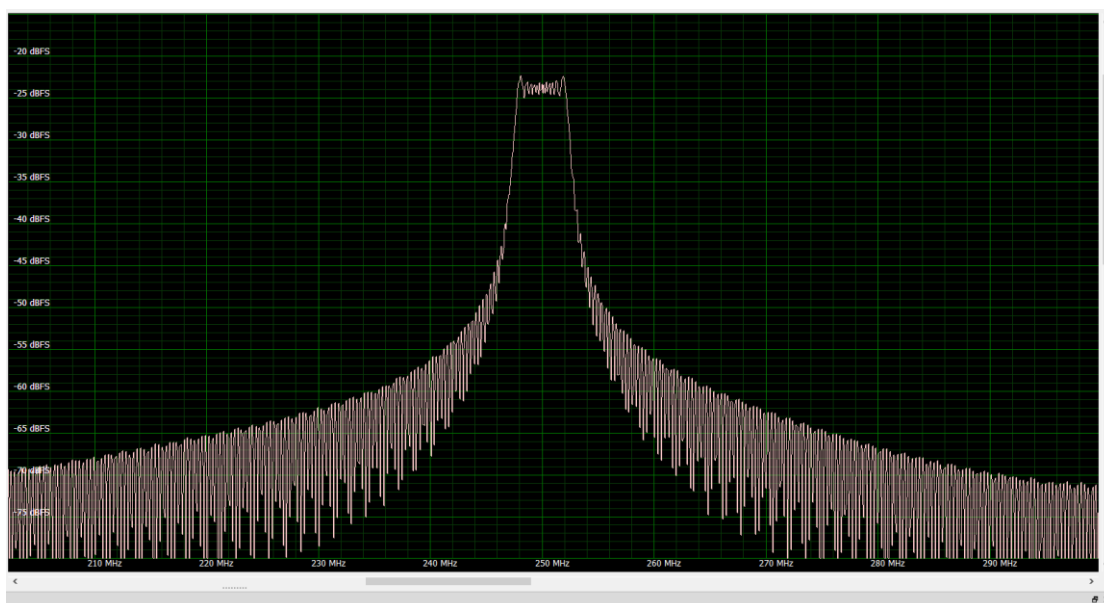
DDS オプションを使用して 100 MHz の正弦波を作成する C++ コマンドの例。

これらの単純なテキストベースのソース・コマンドは、コンパイル後、さらに簡潔な形式で DDS ファームウェアに送信され、同等の AWG 波形よりもはるかに少ないメモリしか必要としません。この例では、正弦波の周波数と振幅が指定されています。コマンドは、Python、C/C++、MATLAB、LabVIEW、その他多くのプログラミング環境で記述できます。

各搬送波の振幅、周波数、位相を設定できます。さらに、正弦波の周波数または振幅の線形変動を指定できます。たとえば、250MHz のキャリアに対して 5MHz のレーダーチャープを生成するには、DDS コアのコマンドは次のとおりです。

```
// Chirp, 10µs duration, linear frequency sweep starting at 247.5 MHz to 252.5 MHz
CORE0_FREQ = 247.5 MHz
CORE0_FREQ_SLOPE = 5/10 MHz/µs
CORE0_AMP = 1.0 // 100% Amplitude
TRG_SRC = TIMER
TRG_TIMER = 10µs
CMD = EXEC_AT_TRG
```

周波数は 247.5MHz から始まり、 $10\mu\text{s}$ で 252.5MHz まで直線的に増加します。信号の FFT スペクトルを図 3 に示します。



レーダーチャープの FFT スペクトルは、247.5MHz から 252.5MHz までの周波数の線形変化を示します。

AWG でこれと同じ波形を式で計算するには、1.25GHz のサンプリングレートで 12500 サンプルの電圧値を計算する必要があります。

対照的に、DDS コアは、わずか 6 つのコマンドで同じ信号を生成します。さらに、これらのコマンドは、それぞれをわずか 64 ビット(8 バイト)に収める最適化されたドライバを介して AWG に送信されます。これにより、AWG の 4GB オンボードメモリに最大 5 億個のコマンドを保存できます。

DDS コマンドは、ユーザー指定のトリガイベントと同期して実行されます。トリガイベントには、AWG カードの内部トリガ・ジックで生成されたイベントや、このケースのように内部タイマを使用して生成されたイベントが含まれます。慎重な設計により、DDS 出力は、わずか 6.4ns の分解能で、任意の外部トリガイベントまたはプログラマブルタイマと同期させることができます。

各コアは、独自の変調された正弦波を生成できます。別のレーダーの例としては、250MHz のキャリアで、10kHz のパルス繰り返し周波数(PRF)、 $10\mu\text{s}$ のパルス幅でレーダーパルス列を生成することが挙げられます。DDS コマンド待ち行列は、以下のとおりです。

```

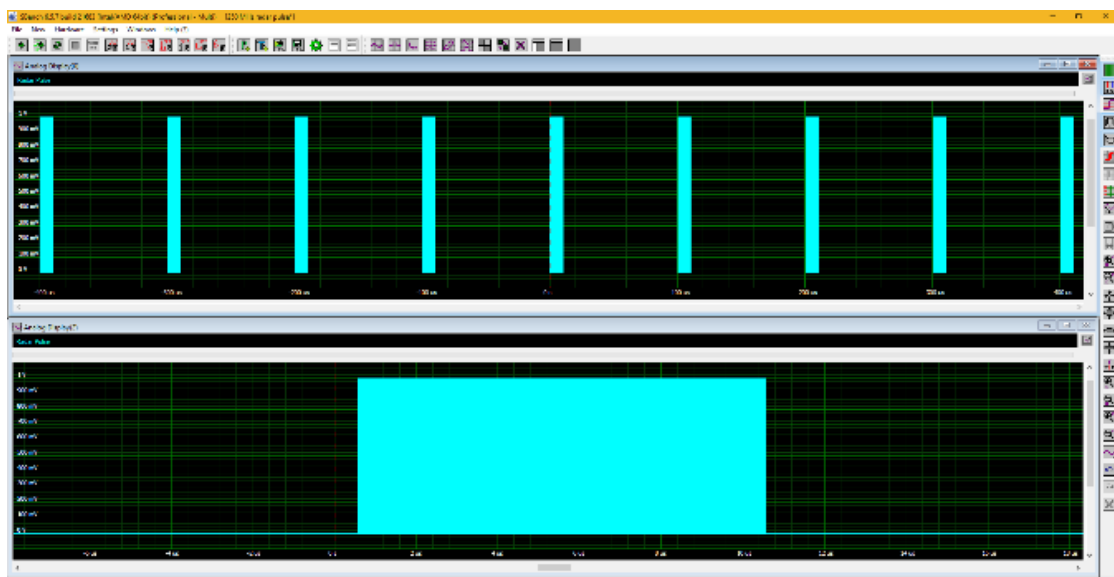
// Initial Settings
PHASE_BEHAVIOR = JUMP
COREO_FREQ = 250 MHz
TRG_SRC = TIMER
for(i = 0; i < pulse_count; i++) {

    // Switching on for 10 μs
    COREO_PHASE = 0 // Start at Phase 0 each Cycle
    COREO_AMP = 1.0 // 100% Amplitude
    TRG_TIMER = 10μs
    CMD = EXEC_AT_TRG

    // Switching of for 90μs to get 10kHz repetition Rate
    COREO_AMP = 0
    TRG_TIMER = 90μs
}

```

結果として得られるパルスストリームを図 4 に示します。

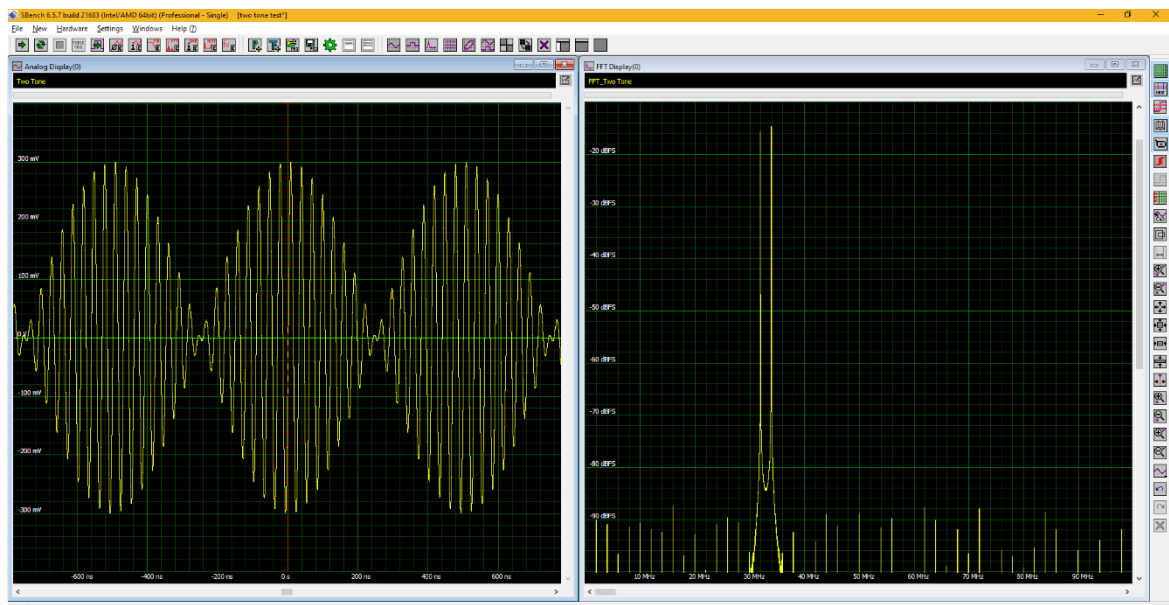


250 MHz のキャリア、10 kHz の PRF、10 μs のパルス幅を持つレーダーパルス を DDS オプションで作成し、100 μs(上)と 2 μs(下)の水平スケールで表示します。

これは、正弦波キャリアをゲートする能力を示しています。搬送波の振幅をゼロに設定すると、オフになります。振幅を設定する同じ手法を使用して、搬送波の振幅変調を行うことができます。

デュアルトーン波形

DDS オプションでは、複数の合計キャリアを作成できます。マルチキャリア波形の最も一般的な用途は、相互変調歪み(IMD)テストです。デュアルトーン波形(搬送周波数の異なる正弦波)が加算され、デバイスに適用されます。デバイスの非線形性により、特定の周波数で生成物が混合されます。デバイスの出力スペクトルには、元の信号周波数、和と差の周波数、および和と差の周波数の倍数である相互変調積が含まれます。IMD レベルは、相互変調積の電力と目的の出力信号の電力の比率で、デシベル(dB)で表されます。IMD レベルが低いほど、デバイスのパフォーマンスは向上します。図 5 は、ツートーン テストの例を示しています。



32MHz と 34MHz のデュアル正弦波は、IMD テストのために合計されます。デバイスの出力スペクトルは、元の 2 つの周波数と、2MHz ごとに間隔を空けた高調波および相互変調積を示します。

使用されるトーンは、32MHz と 34MHz の 2 つです。左図に示す合計信号は、周期的に干渉したり強化したりして、ビートノートになります。スペクトルは、2 つの元の周波数と、すべてのミキシング積と相互変調積を示しています。これらの周波数は、2MHz の差周波数で配置されています。

マルチトーン波形

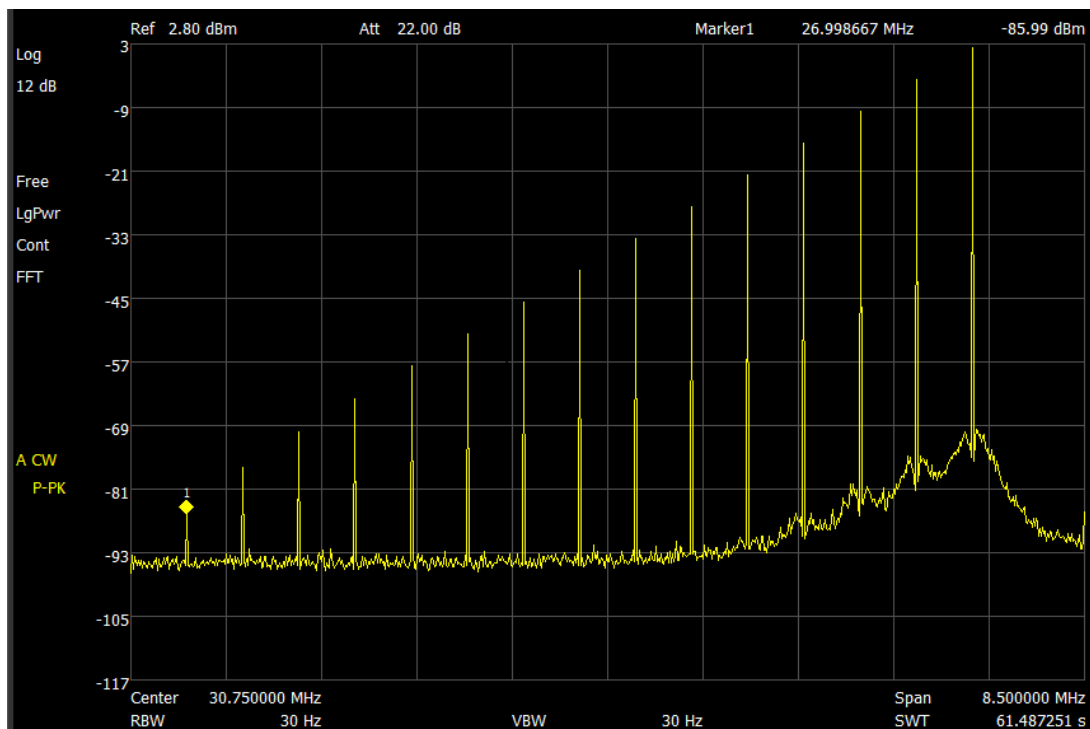
マルチトーン正弦波は、A/D コンバータ(ADC)の性能を迅速に評価するために使用できます。

この表は、15 個の正弦波の合計で構成されるテスト波形の成分の周波数と振幅を示

しています。

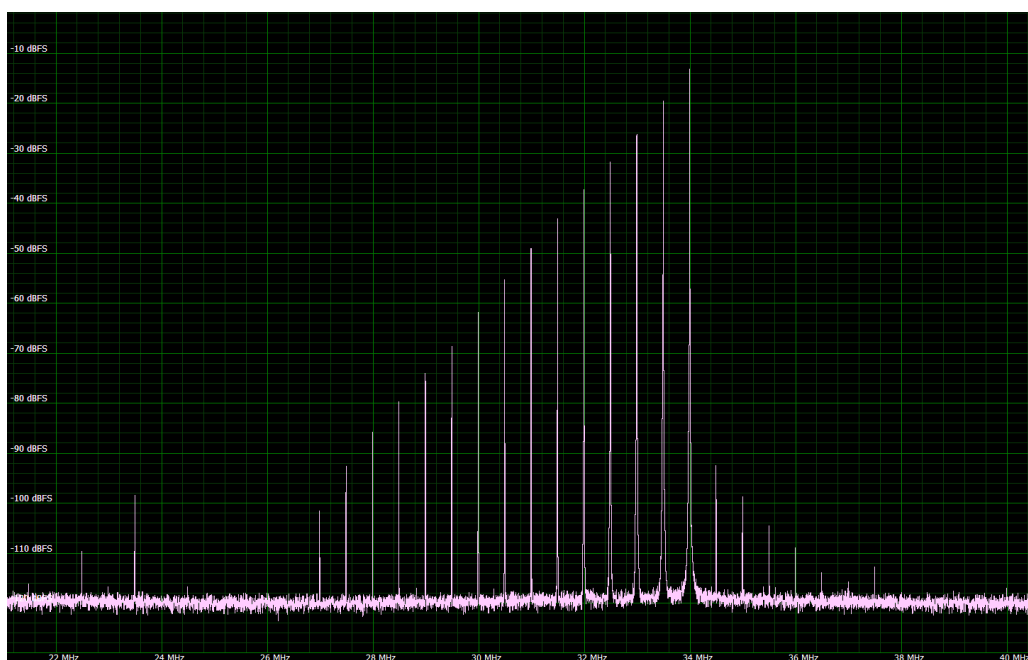
周波数 (MHz)	振幅 (%)	相对振幅(dB)
34.0	50	0
33.5	25	-6
33.0	12.5	-12
32.5	6.25	-18
32.0	3.125	-24
31.5	1.562548	-30
31.0	0.781274	-36
30.5	0.390637	-42
30.0	0.195318	-48
29.5	0.097659	-54
29.0	0.04830	-60
28.5	0.024415	-66
28.0	0.012207	-72
27.5	0.006104	-78
27.0	0.003052	-84

その結果の波形をスペクトラムアナライザで表示したものを図 6 に示します。



スペクトラムアナライザで見た 15 音の波形

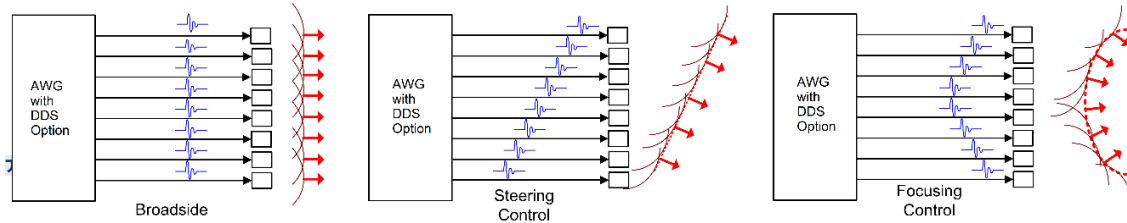
スペクトラムアナライザは、トーン振幅の直線性を示します。
デジタイザに適用すると、図 7 の結果はデジタイザのダイナミックレンジと直線性を示しています。



15 トーンのテスト波形に対するデジタイザの応答

デジタイザの応答は、トーン振幅を読み取るのに優れています。一部の相互変調成分は、-90dBをはるかに下回る振幅で現れます。この単純な波形により、デジタイザの応答の高品質をすばやく把握できます。

マルチトーン、マルチ出力アプリケーション

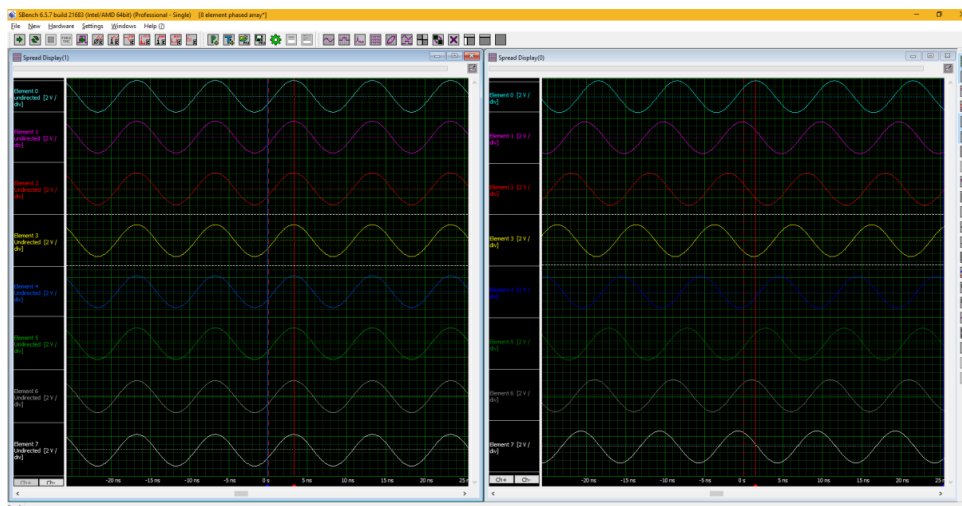


アンテナまたはトランスデューサアレイを駆動する個々のソースの位相と振幅を制御することで、放射された波面をステアリングまたは集束できます。

ここ

まで説明してきたマルチトーン信号は合計され、1つのチャンネルから出力されます。また、複数のチャンネルで単一の正弦波を出力することも可能です。フェーズドアレイシステムの駆動などのアプリケーションでは、個々の正弦波の振幅と位相を制御して、アンテナや探触子アレイの波面を誘導または集束します。図8は、この機能を簡略化したものです。

波形が同じ位相でエミッタに到達する場合、波面は平坦または舷側形状になります。波形をエミッタ間で線形に位相遅延させることにより、波面を操舵することができます。最後に、中央付近のエミッタが最初に到着し、外側のエミッタが後から駆動されるように波形を位相調整することで、アレイに焦点を合わせることができます。図9は、8素子のフェーズドアレイをブロードサイドまたは無指向性アライメントで駆動する場合と、45度下向きに操縦した指向性波面の場合の波形を示しています。



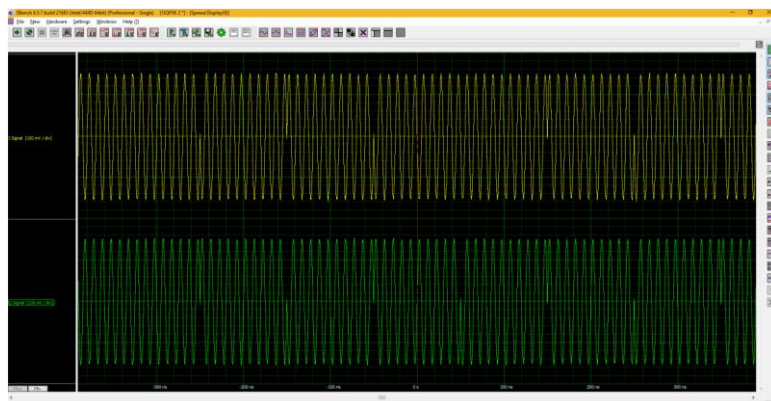
片舷側(左)の信号位相をゼロ位相シフトで比較し、指向性(右)アライメントをプログレッシブ位相シフトで8素子フェーズドアレイと比較した結果。

赤いカーソルは、どちらの場合もエレメント 0 波形の 3 サイクル目のピークを示します。無向インスタンスのすべての波形は同じ位相を持ち、カーソルはすべての要素波形の 3 番目のサイクルピークに置かれます。有向波形要素は、連続する各要素に対して徐々に遅延する要素位相を示します。

この例では、8 つのチャンネルを使用していますが、これは 2 つの 4 チャンネル M4i.6622-x8 AWG をスターハブオプションと同期させることで実現できます。最大 8 枚の PCIe カード、または 32 チャンネルのシステムも、同じ方法で構築できます。LXI/Ethernet ベースの計測器をご希望の場合は、最大 24 チャンネルの DN シリーズ ジェネレータ NETBOX ユニットもご利用いただけます。

直交変調

DDS オプションでは、位相変調信号の生成も可能です。直交変調は位相変調に基づいており、データ通信システムで使用されます。直交位相偏移変調(QPSK)は、送信シンボルごとに 2 ビットを符号化する変調方式です。これは、同相 (I) および直交 (Q) データ ストリームと呼ばれる 2 つのバイナリ位相シフト キー (BPSK) データ ストリームを作成することによって生成されます。I 信号と Q 信号は直交で合計され、QPSK 信号が生成されます。これらの信号は、180 度の差で 2 つのバイナリ状態をエンコードします。DDS オプションを使用すると、図 10 に示すような波形を簡単に生成できます。



QPSK 符号化信号の I 成分と Q 成分が組み合わされて、4 つのデータ状態をもつ信号が生成されます。

```
// I Signal on Channel 0, CORE 0  
// Q Signal on Channel 1, CORE 20
```

```
PHASE_BEHAVIOR = SHIFT  
CORE0_FREQ     = 100 MHz
```

```

CORE0_AMP      = 1.0

CORE20_FREQ    = 100 MHz
CORE20_AMP     = 1.0

// 10 MHz Sampling Rate by using the Timer
TRG_SRC        = TIMER
TRG_TIMER      = 0.2µs

bool iq_data[64][2]; // 64 QSPK Symbols with 1 I and 1 Q Bit
                    // n'th I-Bit at Index [n][0], Q-Bit at Index
                    [n][1]

// Fill IQ Data with 128 Bit of a Pseudorandom Binary Sequence
iq_data = generate_PRBS_data(128)

for (i = 0; i < 64; i++)
{
    CORE0_PHASE = 0° + iq_data[i][0] * 180°
    CORE20_PHASE = 90° + iq_data[i][1] * 180°
    CMD         = EXECUTE_AT_TRIG
}

```

それぞれが 2 つのバイナリ状態のみを持つ 2 つの BPSK 信号は、変調器で結合されて 4 状態の QPSK 信号を形成します。この例では、100MHz の搬送波を 5MHz のシンボル・レートで位相変調し、バイナリ・データの送信された 1 と 0 の状態に対応するプラスとマイナスの 180 度の位相シフトを行います。

- **結論**

AWG 用のスペクトラム計測 DDS オプションは、生成と制御が簡単な複数の正弦波出力を AWG 機能に追加することで、AWG 製品の汎用性を高めます。DDS オプションのシンプルなテキストベースのコマンドは、正弦波の振幅、周波数、位相を制御し、正弦波用のよりボリュームのあるサンプル値ベースの AWG 波形を置き換えて、より応答性の高い制御を実現します。DDS オプションは、通信、医療、画像処理、産業用システムなど、高速周波数

スイッチング、微細周波数、位相、振幅制御を使用するアプリケーションに適用できます。

リンクス

このアプリケーションノートを [PDF ファイル](#) としてダウンロード

- アプリケーションノート「[Using Spectrum DDS in Quantum Research](#)」を参照
- [DDS モードの使用に関する](#)製品ノートの詳細を参照してください。
- 1.25GS/s、400MHz の信号帯域幅を持つ 66xx AWG シリーズ:[66xx](#) を参照
- [DDS モード](#)の詳細はこちら