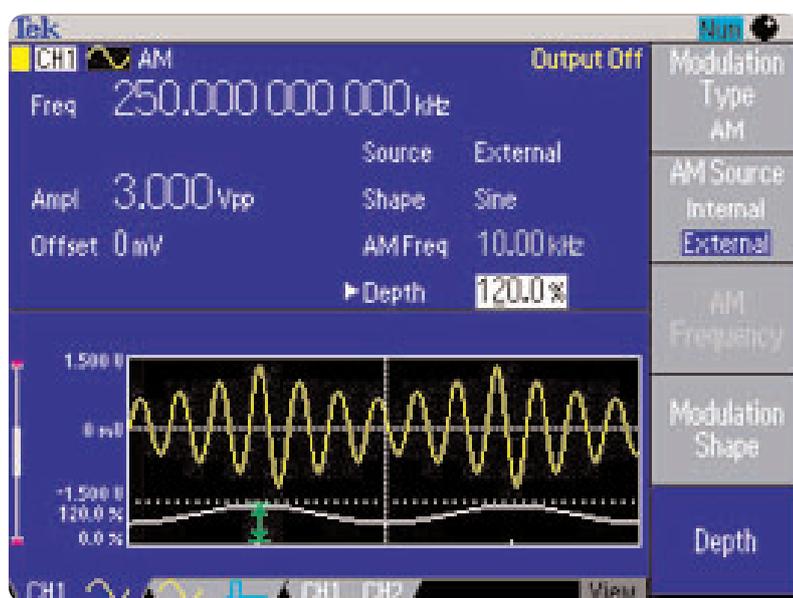


信号生成手法について

ダイレクト・デジタル・シンセシス (DDS) または可変クロック・アーキテクチャ ("True Arb") の選択



電子的なテストや測定では、多くの場合、内部的に生成できない信号を生成するための信号源が必要になります。

信号源は、「既知の正しい」信号を生成したり、生成された信号に対して既知の再現可能な量やタイプの歪み（または異常）を付加したりできます。この特性は信号源の最も有用な点の1つです。回路だけでは、必要な時と場所に合わせて、予想される歪みを正確に生成することはほとんど不可能であるためです。信号源は、設計検証から特性評価に至るまで、さらにストレス試

験やマージン・テストから適合性テストに至るまで、多数のアプリケーションで使用されます。信号源のアーキテクチャにはさまざまな選択肢があり、それぞれに特定のアプリケーションに対する長所、機能、およびコスト効果があります。以下で、任意波形/ファンクション・ジェネレータおよび任意波形ジェネレータで使用される、2種類の信号生成アーキテクチャを比較します。どちらを選択するかは、アプリケーションに依存して異なります（以下、信号源とジェネレータは同じ意味です）。

信号生成手法について

▶ 技術情報

任意波形/ファンクション・ジェネレータ (AFG) は、内部メモリの内容を読み出して、ファンクション波形と任意波形の両波形を生成します。最新の AFG は、ダイレクト・デジタル・シンセシス (DDS) 技術を使用して、広い周波数レンジの信号を出力します。

任意波形ジェネレータ (AWG) は、真の可変クロック・アーキテクチャ (通称 "true arbs"¹) に基づいており、すべての周波数でより複雑な波形を生成するのに適しています。AWG も内部メモリの内容を読み出しますが、方法が異なります (後述)。高度な通信および演算を扱う設計者は、複雑な変調や異常信号を伴う高速信号を生成するために AWG を選択します。その結果、研究、開発、およびエンジニアリング・アプリケーションの最上層では、AWG が使用されています。

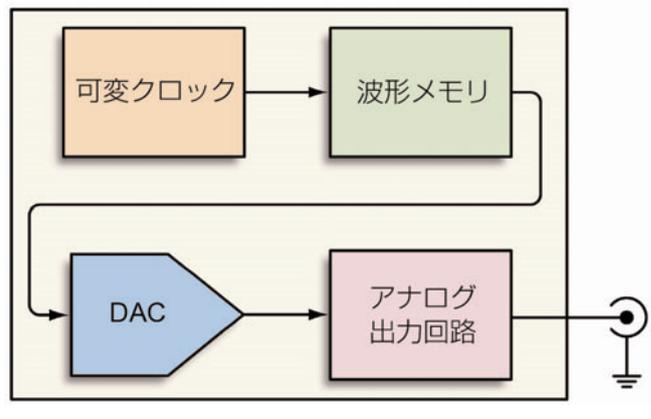
2 種類のジェネレータでは、波形生成のアプローチが大きく異なります。以下では、可変クロックに基づく任意波形ジェネレータと、DDS に基づく任意波形/ファンクション・ジェネレータの相違点について説明します。

背景知識：プラットフォームの比較

AWG：シンプルなコンセプト、優れた柔軟性

AWG は AFG よりも柔軟性が高いアーキテクチャですが、基本となる波形生成の技法は単純です。AWG の再生方式は「逆方向のサンプリング」と考えることができます。

これはどういう意味でしょうか。サンプリング・プラットフォームの典型であるオシロスコープを思い浮かべてください。オシロスコープでは、ユーザが指定したクロック・レートによって決定されるサンプリング周波数により、一定時間内の連続するアナログ信号の電圧値をデジタル化して、波形を取り込みます。サンプルされた結果はデータとしてメモリに格納されます。



▶ 図 1. AWG アーキテクチャの簡易ブロック図

AWG では、そのプロセスを逆に行います。つまり、既にメモリに格納されている波形から作業が開始されます。波形は指定範囲のメモリ位置に格納されています。クロック・サイクルごとに、ジェネレータがメモリから波形データを取り出して出力します。波形を形成するデータ長を一定とすると、クロック・レートが速くなればメモリ内の波形データの読み出しが高速になり、出力周波数が高くなります。つまり、出力信号の周波数は、クロック周波数とメモリ内の波形データ長に完全に依存します²。図 1 の簡単なブロック図は AWG のアーキテクチャを示しています。

AWG の柔軟性はそのメモリに格納された波形に起因します。波形はどのような形を取ることもでき、グリッチがあってもなくても構いません。PC ベースのツールを利用することで、ユーザはあらゆる波形を作り出せます (物理的制約内で)。波形データはジェネレータが生成できるようなクロック周波数でもメモリから読み出すことができます。クロック速度が 1MHz でも 1GHz でも、波形は同じ形になります。

¹ 一般に、任意波形ジェネレータは、単に "arb" と呼ばれています。

² どの AWG モデルもメモリの最大容量は決まっています。波形のメモリ長が、最大容量を超えることはできません。

高周波を効率的に生成する AFG

AFG もその出力信号の基本としてストア波形を使います。サンプルの読み出しにはクロック信号を使用します。ただし、ここから方法が変わります。

AFG のクロックは特定の固定レートで動作します。波形データ長もメモリ内で固定なのに、AFG はどのようにして異なる周波数で波形を出力できるのでしょうか。

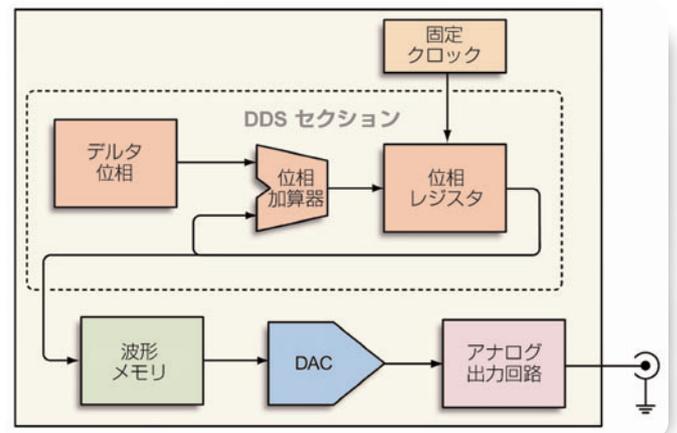
たとえば、1MHz の固定レートで出力される 1,000 個のデータで構成されるストア波形を使って AFG を作動させていると仮定します。出力信号の周期はちょうど 1ms (1kHz) に固定されることとなります。

多くのアプリケーションで単一周波数の信号源は有用ではありません。そこで DDS 技術が解決策を提供します。DDS ベースの AFG では、すべてのサンプルを読み出す代わりに、1,000 個未満のサンプルを読み出して、波形を再構築します。

図 2 に、DDS セクションを含めた典型的な AFG アーキテクチャの概要を示します。出力信号は、クロック、位相値、および波形メモリの内容によって形成されます。

既に述べたように、AFG は固定のシステム・クロック周波数で動作し、内部にストアされた波形データは、360 度の波形サイクルとして扱われます。波形データ長とユーザが設定した周波数に基づいて、DDS セクションは自動的に位相の増分を決定しながら波形データを取り出して出力します。

高い周波数に設定すると位相の増分が大きくなり、AFG は 360 度のサイクルを素早く先へスキップするので、高周波信号が生成されます。周波数の値を低くすると増分が小さくなり、位相アキュムレータが波形サンプルをゆっくりとしたペースで進み、場合によっては 360 度になるまで同じデータを繰り返して出力するので、低周波の波形が生成されます。



▶ 図 2. AFG アーキテクチャの簡易ブロック図

これらすべての決定を行う数式についてはここでは説明しません。AFG は独自の内部アルゴリズムに基づいて、選択した波形データ・ポイントをスキップします。このような位相増分のアプローチにより、すべてのサイクルで常に同じデータ・ポイントをスキップするわけではありません。AFG は各種の波形と周波数を生成するための便宜的な方法を提供しますが、ユーザはどのデータ・ポイントをスキップすべきかを制御することはできません。

これは出力波形の忠実度に影響します。正弦波や三角波などの連続した形状を持つ波形は通常問題ありませんが、昨今のデジタル環境で一般的なパルスや過渡信号のように高速な過渡現象を伴う信号では影響が現れます。たとえば、通信装置の新しいコンポーネントに対してストレス試験を行うと仮定します。テスト波形は一連のバイナリ・パルスで、そのうちの 1 つには立上りエッジに過渡現象があります。ある周波数では、DDS の位相の増分が過渡現象を信号の一部としてクロック出力することなく、単にスキップする可能性があります。この場合、被測定装置 (DUT) に対して、信号は安定したパルス・ストリームしか供給しないため、ストレス試験は無意味になります。

信号生成手法について

▶ 技術情報

	AFG (DDS)	AWG
サンプル・クロック・レート	固定	可変
サンプル増分	自動的に変化 (出力周波数の設定による)	固定、クロックごとに1ポイント
メモリ長	固定または可変	可変

▶ 表 1. AFG と AWG のサンプリング特性

AFG アーキテクチャはフル機能の AWG ツールセットよりも低価格で実装/実現できます。その結果、すべてのエンジニアや研究者に AFG を所有してもらうことも十分可能です。また、AFG には独自の性能上の利点があります。一部の先端モデルは、すべての波形生成プラットフォームで優れた周波数アジリティを提供します。これは、信号に不連続性を生じさせることなく、さまざまな周波数をスムーズに切り替える能力のことです。

表 1 に、AFG および AWG プラットフォームのクロック特性とメモリ特性をまとめます。

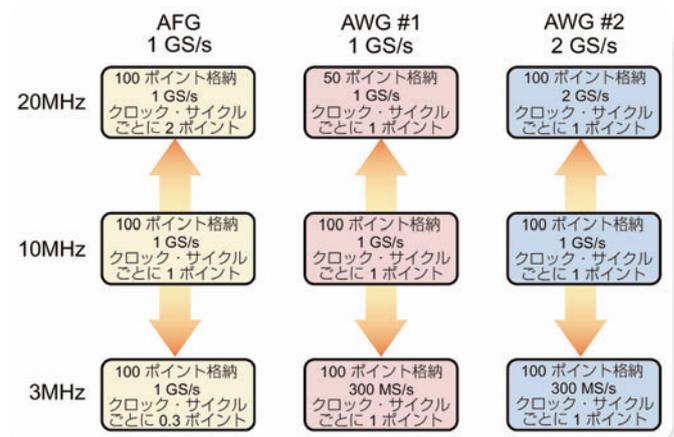
詳細解説

AWG アーキテクチャと AFG アーキテクチャの違いをより深く理解するために、簡単な「ケース・スタディ」を用意しました。出力波形を決定するデータのサンプル・ポイントが2つのプラットフォームでどのように処理されるのかを見てみましょう。

この比較では3台の機器を使用します。最高サンプル・レートが1GS/sのAFG、最高サンプル・レートが1GS/sのAWG #1、そして最高サンプル・レートが2GS/sのAWG #2です。

目的は、3 ~ 20MHzの周波数レンジで正弦波を生成することです。AWGとAFGの各機器には、1サイクルの正弦波がサンプル・メモリに100ポイント分ロードされています。3つのプラットフォームの処理方法の違いを図3に示します。

3つのツールすべてが1GS/sのサンプル・レートで100ポイントを読み出し、10MHzの正弦波を生成できます(図3の中段)。



▶ 図 3. 出力信号の周波数を処理する3つのアプローチ。

- ▶ AFG の DDS は、10MHz を出力するように指示されると、1GS/s のクロック・サイクルごとに1ポイントの増分であると計算します。これにより100個のサンプル・ポイントすべてを使用します。
- ▶ 2つの AWG のクロックはいずれも手動で1GS/sに設定され、100ポイントを読み出して10MHzの波形を生成します。

出力周波数を3MHzに設定すると方法が変わります(下段)。

- ▶ AFG のクロックはまだ1GS/sの固定レートで動作しています。ただし今度は、DDSがクロックごとの増分を0.3ポイントと計算します。つまり、個々のデータ・ポイントが3回から4回繰り返されます。
- ▶ 2つの AWG のクロック周波数はいずれも手動で300MS/sにまで下げる必要があります。これでクロックによるポイントの読み出しが低速になり、3MHzの出力周波数が生成されます。

今度は出力周波数を 20MHz に上げます。ここでは 3 つのプラットフォームすべてがこの処理を別々の方法で行います。

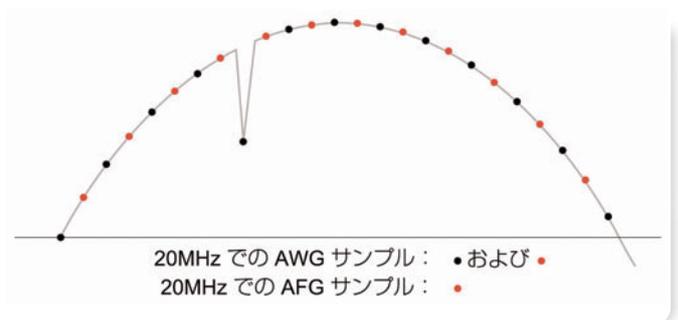
- ▶ AFG の DDS は増分を 2 サンプルに設定します。データを 1 つおきに読み出し、全部で 50 ポイントを使って波形を生成/出力します。これには、100 ポイント読み出す場合の半分の時間しかかかりません。結果は 20MHz の出力信号になります。
- ▶ AWG #1 もクロックごとに 1 データを読み出します。すべての AWG があらゆる周波数設定でこの動作を行います。ただし、AWG の最高サンプル・レートは 1GS/s なので、20MHz の正弦波周期である 50ns の間に 100 個のデータを読み出すことはできません。そこで、ユーザが意図的に操作を行って、ストア波形のデータ数を全部で 50 個まで減らす必要があります。結果は 20MHz の出力信号となります。

必要な場合には、データ数を編集できるソフトウェア・ツールが用意されており、機器によってはその機能が組み込まれているものもあります。外部ツールを使用する場合は、変更された波形を再び AWG に読み込ませる必要があります。

- ▶ AWG #2 はクロック・サイクルごとにデータを 1 つ読み出しますが、クロック・レートは 2 倍の 2GS/s です。このジェネレータは 100 ポイントのメモリを 2 倍の速度で読み出します。結果は 20MHz の出力信号となります。

AWG #1 は AFG と同じ波形分解能に制限されているように見えるかも知れませんが、ここには重要な違いがあります。20MHz の出力周波数で、AWG は正弦波の 50 個のデータをすべて読み出しています。一方、AFG はデータをスキップしています。

図 4 に、AFG/DDS と AWG のアプローチに見られる基本的な相違点を示します。図には 25 ポイントからなる半周期の正弦波が描かれていますが、DAC 上の瞬間的な欠落をシミュレートするためにグリッチも追加されています。



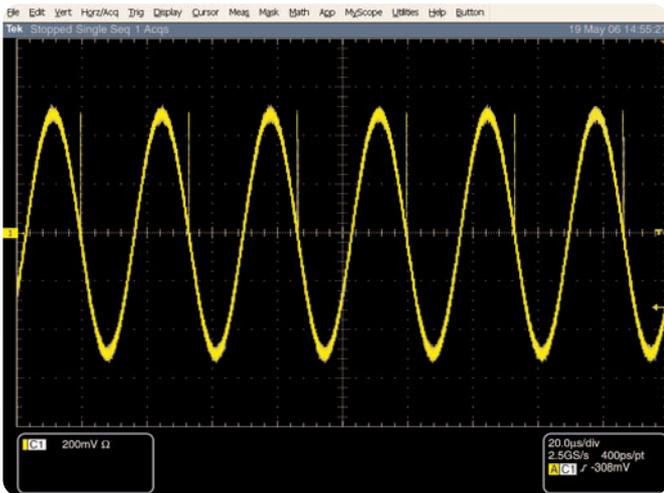
▶ 図 4. AFG は出力周波数を上げるためにデータをスキップします。設定周波数によっては、信号の詳細が無視されます。

AWG は、出力周波数の設定に関係なく、赤と黒のすべてのデータ・ポイントを読み出します。出力周波数を 10MHz に設定すると、25 ポイントを読み出します。20MHz に設定しても、やはり 25 ポイントを読み出します。AWG 内の最大クロック・レートが低いために、すべてのポイントを読み出すと希望の周波数が生成できない場合は、ポイント数を減らすことができます。ユーザが AWG のデータ数を減らすとき、希望する波形特性を維持すれば（グリッチは減らさないようにする）、AWG はクロック・サイクルごとに必ず 1 回グリッチを出力します。

次に AFG を見てみましょう。出力周波数を 10MHz に設定すると、すべてのデータ・ポイントを読み出します。20MHz に設定すると、1 ポイントおきに読み出します。読み出されるポイントは赤で示されています。AFG がグリッチを完全にスキップしていることに注意してください。これにより、波形は純粋な正弦波として出力されてしまいます。被測定装置はグリッチを受け取ることができません。

信号生成手法について

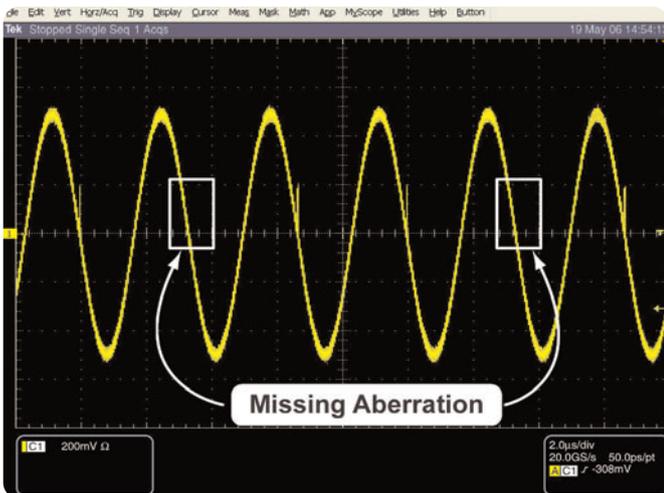
▶ 技術情報



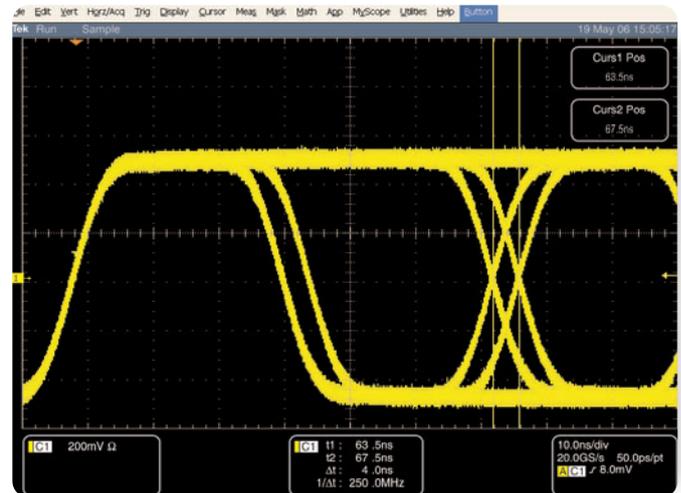
▶ 図5. このAWGの正弦波信号から、1サイクルごとにグリッチがあることがわかります。AWGはメモリ内のすべてのサンプルを読み出し、それによりグリッチが一定の間隔で確実に繰り返されます。



▶ 図7. 30MS/sで動作しているAWGの30Mbpsのランダム・パターン。



▶ 図6. このAFGの正弦波は、一部のサイクルでグリッチの再現に失敗しています。過渡現象を決定するデータをスキップしていることが原因です。



▶ 図8. 250MS/sで動作しているAFGの30Mbpsのランダム・パターン。ジッタ値は250MS/sの逆数(4ns)です。

グリッチを含む信号

図4はあくまでも「わかりやすいように単純化された」例です。使用されるアルゴリズムや周波数によってDDSは異なるデータ・ポイントをスキップするため、赤と黒のサンプルの分類はすべてのケースに当てはまるものではありません。図5と図6は、2つのサンプリングと波形再現アーキテクチャの違いを強調した実際のスクリーン・ショットです。

³ 正弦波や他の低速な過渡信号は影響を受けません。

擬似ランダム・ビット・ストリーム (PRBS) パターンの生成

固定サンプル・レートであるDDSベースのAFGを使用して擬似ランダム・ビット・ストリーム (PRBS) を生成する際には、ジッタが問題になります。簡単に言うと、AFGは高速変化する立上りと立下りの両パルス・エッジで、1クロック・サンプルに相当するジッタをもたらす傾向があります³。たとえば、AFGのサンプル・レートが250MS/sの場合、信号エッジには4nsのジッタが現れます。ジッタ値はAFGのサンプル・レートと同じです。

AFGはサンプル・レートが固定であり、そのレートがデータ・レートの倍数でないためにジッタが現れます。ここでもまた、AWGはこの制限に影響されません(実際の信号源では、必ずジッタが生成されることに注意してください)。

長所と短所

ツールの最終的な選択は、結局のところ、アプリケーションによって異なります。「最良の値」を求めたい思いは常にありますが、それはサンプル・レートやメモリ長に当てはめると最大値を意味します。その代わりに、アプリケーションの実際の信号要件に見合った選択をすることをお勧めします。

たとえば、あるミッド・レンジの AFG が 1GS/s のサンプル・レートを提供し、同クラスの AWG では 600MS/s が限度であるとしします。ただし、幅広い周波数レンジで信号の詳細を確実に提供することがアプリケーションで要求される場合、ツールとしては AWG が適しています。AWG はストア波形のすべてのデータを読み出すため、過渡現象、エッジの立上り時間、およびノイズ効果でさえも正確に再生できます。

また、擬似ランダム・ビット・ストリーム (PRBS) のようなジッタの少ないデジタル波形を生成するツールとしても AWG が適しています。多くのシリアル・バス測定用のアプリケーションにとって、AWG は最適なソリューションとなります。

必然的に、トレードオフもいくつか出てきます。前述の AWG #1 のケースに見られるように、データ数を編集して出力周波数を上げる方法は、単に周波数を変更する AFG の方法と比べ、手間がかかります。

また、AWG のアーキテクチャはチャンネル全体で 1 つの可変マスタ・クロックに依存するため、複数のチャンネル間で異なる周波数を同時に生成するには、各チャンネルに異なる波形ファイルを格納します。

たとえば、10MHz の正弦波をチャンネル 1 で生成し、同時に 20MHz の正弦波をチャンネル 2 で生成する必要がある場合、チャンネル 2 の波形メモリには 2 サイクル分をロードする必要があります。その結果、クロックによるメモリ読み出しの際に、チャンネル 1 から 1 データ取り出すたびにチャンネル 2 から 2 データを取り出すことになり、出力周波数が 2 倍になります。周波数が基本周波数の単純な倍数でない場合には、このプロセスはより複雑になります。

AFG には他にも強みがいくつかあります。AFG の位相ノイズ特性と周波数アジリティは、AWG に勝る傾向があります。先進の AFG モデルの中には、DDS によってチャンネルごとにマスタ・クロックを個別に操作できるものがあり、複数の周波数を一度に生成できます。また、AFG は一般に、価格的に最も手頃なソリューションです。任意波形/ファンクション・ジェネレータは汎用信号源の中心的存在になってきました。

AFG は、低ジッタと非常に狭い過渡現象を必要とするアプリケーションにはあまり適していません。出力波形には本来ジッタが多いために、出力を受け取る DUT が誤った応答を引き起こす可能性があることから、AFG プラットフォームは PRBS アプリケーションにとって十分な機能を提供できない場合があります。また、予想される信号歪みが必要なストレス試験の場合、AFG のサンプル・スキップ技法により、周波数に依存して誤った結果が生じることがあります。

まとめ

AFG または AWG のどちらかを選択することは、2 つの優れたアーキテクチャのどちらがアプリケーションにとって最適かを判断することです。

- ▶ アプリケーションで、ノイズの少ない規則的な波形が必要な場合、周波数を素早く切り替えたい場合、または複数のチャンネルで同時に異なる周波数を発生させる必要がある場合は、AFG を選択してください。
- ▶ PRBS ストリームや変調 RF 信号などの最も複雑な信号には AWG を選択してください。信号源があらゆる周波数のあらゆるサイクルでグリッチ、制御されたジッタ、およびノイズを確実に生成する必要がある場合には、AWG が適しています。

Tektronix お問い合わせ先：

アメリカ 1 (800) 426-2200
イタリア +39 (02) 25086 1
インド (91) 80-22275577
イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400
オーストリア +41 52 675 3777
オランダ 090 02 021797
カナダ 1 (800) 661-5625
スイス +41 52 675 3777
スウェーデン 020 08 80371
スペイン (+34) 901 988 054
大韓民国 82 (2) 528-5299
台湾 886 (2) 2722-9622
中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777
中華人民共和国 86 (10) 6235 1230
中東アジア/北アフリカ +41 52 675 3777
中東ヨーロッパ/ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
ドイツ +49 (221) 94 77 400
東南アジア諸国/オーストラリア (65) 6356 3900
南アフリカ +27 11 254 8360
日本 81 (3) 6714-3010
ノルウェー 800 16098
バルカン半島/イスラエル/アフリカ南部諸国および ISE 諸国 +41 52 675 3777
フィンランド +41 52 675 3777
ブラジルおよび南米 (11) 4066-9400
フランス +33 (0) 1 69 86 81 81
ベルギー 07 81 60166
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
香港 (852) 2585-6688
メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 5424700
ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400
ロシアおよび CIS 諸国 +7 (495) 7484900
その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111
Updated 15 September 2006

詳細情報

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、アプリケーション・ノート、テクニカル・ブリーフなどをご用意しています。当社ホームページ (www.tektronix.co.jp または www.tektronix.com) をご参照ください。



Copyright Tektronix Tektronix 製品は、米国およびその他の国の特許（出願を含む）により保護されています。本文書は過去に公開されたすべての文書に優先します。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。TEKTRONIX および TEK は Tektronix, Inc. の登録商標です。参照されているその他のすべての商品名は、該当する各会社が保有するサービス・マーク、商標、または登録商標です。

7/06 JS/WOW

76Z-19764-1

Tektronix

Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 6 階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011

電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~18:00 月曜~金曜 (祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com