

82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュールと TDS8200型/CSA8200型 サンプリング・ オシロスコープによる超低ジッタ特性



このアプリケーション・ノートでは、82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュールの動作原理、機能、および超低ジッタの測定能力について説明します。

はじめに

高速シリアル・データの標準規格で、ジッタの限界について規定されることが多くなるにしたがい、高精度で再現性があるタイミング測定がますます重要になっています。ジッタの許容範囲も厳しくなっており、ジッタが原因となり、システムの性能が制限されたり、相互運用性が阻害されたりすることが多くなっています。

次世代の電気通信およびデータ通信のハードウェアを設計するエンジニアは、測定機器の限界という問題に直面し

ています。当社の広帯域サンプリング・オシロスコープが持っているトリガ・ジッタ性能は、この何年かの間に業界の中でもトップ・クラスの $750\text{fs}_{\text{RMS}}$ 未満になりましたが、開発部門や製造部門で 40 ギガビット・システムを扱うテスト・エンジニアや、10ギガビット・システムでの R_j/D_j ジッタ評価を高精度で行うテスト・エンジニアの多くは、可能な限りジッタ・ノイズ・フロアが低いテスト機器を必要としています。

82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュール ▶ アプリケーション・ノート

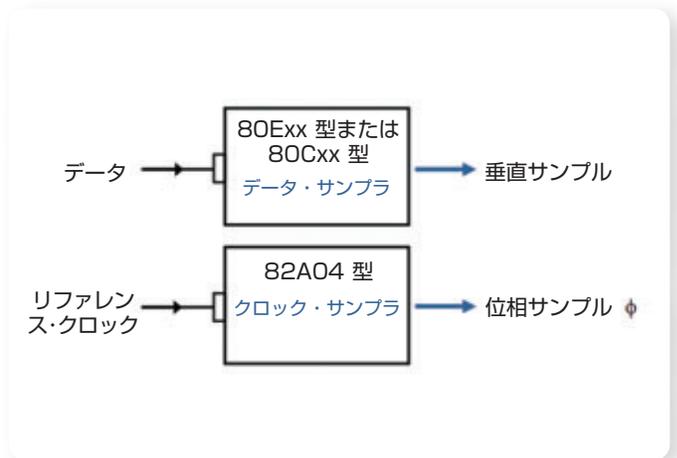
このようなニーズに対して、当社では新製品の CSA8200 型サンプリング・オシロスコープをベースに、82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュールを合わせ、ジッタ・フロアが $200\text{fs}_{\text{RMS}}$ 未満という極めて低い測定を可能にしました。また同時に、高いアキュジション・レート、優れた信号忠実度、そして柔軟性の高い動作モードを実現しています。

CSA8200 型では、82A04 型モジュールと組合せて 2 種類の新しい位相補正タイムベース・モードが用意されています。Triggered フェーズ・リファレンス・モードでは、サンプリング・オシロスコープの性能がそのまま活かされます。また、標準的なタイムベース・モードのように操作が可能で、たとえば、1 つの波形の特定のビットを表示することができます。82A04 型から得られるクロックの位相情報によって、機器のジッタは $200\text{fs}_{\text{RMS}}$ 未満にまで減少しています。

82A04 型モジュールでは、Triggered モードのほか、Free-Run フェーズ・リファレンス・モードも用意されています。このモードは、通常のトリガ・タイムベースと比較すると、機能が若干制限されタイムベースの動作も異なりますが、トリガ信号が不要であるというメリットがあります。

動作原理

フェーズ・リファレンス・タイムベースでは、水平軸サンプルの位置は、共通にサンプリングされる外部基準クロック信号に対する位相測定によって決まります。クロック位相の復調という概念は、以前から存在しています。事実、当社の TDS8000 シリーズ・サンプリング・オシロスコープでは、360 MHz で動作する内蔵のこぎり波発振器のサイクルに対する相対位相を測定することで、標準のタイムベースを生成してきました。82A04 型は、この方法をさらに進めて、ユーザが用意する外部基準発振器の信号に同期します。



▶ 図 1: フェーズ・リファレンス・サンプリング・アーキテクチャの概略図。同期した垂直軸データ信号およびリファレンス・クロック信号は、ユーザによって外部から入力されます。

これにより、対応可能なクロック周波数が大幅に (2 桁以上) 高くなるとともに、単体の RF シンセサイザなどの外部クロック源によって、安定性が高く位相ノイズが小さな基準発振器を利用できるようになります。その結果、標準の内部時間軸と比較すると、タイミングの精度が大きく改善されます。

フェーズ・リファレンス・アキュジションの概略図を、図 1 に示します。Free-Run モードでは、オシロスコープ内蔵の時間軸は機能しません。フェーズ・リファレンス・モジュールの役割は、クロック信号の相対位相角度を抽出し、同時に取込まれた垂直軸のデータ・サンプルに割り当てることです。データは、80E0x 型電気モジュールまたは 80Cxx 型光モジュールによって取込まれます。

同期クロック信号は、フェーズ・リファレンス・モジュールに入力され、このモジュールのクロック・サンブラによってクロック電圧が測定され、 $0 \sim 2\pi$ の相対位相が決まります。次に、オシロスコープは垂直データ・サンプルを垂直軸にプロットし、対応するクロック位相を水平軸にプロットして、波形を表示します。水平軸のスケールは、ユーザが入力するクロック周波数の情報によって、ラジアンや時間単位になります。

サンプリング・ストロブ・ゼネレータは、共通のストロブ・ラインを介してサンプリング・ゲートをストロブします。なお、ストロブ・ゼネレータはフリーランで動作しており、信号とクロックに同期していないことに注意してください。つまり、オシロスコープはランダムな等価時間サンプル・モードで動作します。

超低ジッタを実現する鍵は、データ・サンプリング・モジュールとクロック・サンプリング・モジュールに同時に入力される共通サンプリング・ストロブを使用することです（これに対し、マルチ・ストロブ構造では、複数のストロブ・ゼネレータによってゲートが別々にストロブされます）。シングル・ストロブの場合は、ストロブ発生回路や伝達回路にジッタがもともと存在していても、同じ位相でサンプリング・ゲートに到達することになり、その結果、クロック信号とデータ信号の同時サンプリングが確実になります。マルチ・ストロブ構造では、サンプリング・ストロブの伝達回路が並列になっているため、経路差に起因するジッタが避けられませんが、シングル・ストロブ構造ではそのようなジッタは発生しません。

82A04 型の性能は、原理的に基準クロック信号の波形が理想的な正弦波の場合に、最もよくなります。ただし、このモジュールのハードウェアには高度なクロック信号調整機能があり、位相の再構成アルゴリズムを使用して、さまざまな理想的ではないクロック特性を補正しています。サンプリングしたクロック電圧から正しいクロック位相を抽出する処理は、入力されるクロック信号が未知であるため、数学的には確認できません。

そのため、データをフェーズ・リファレンス・モードで取込むには、その前にクロックを評価して、特定のクロック波形を解析し、校正済み位相参照テーブルを校正し、作成する必要があります（このテーブルは、データのアクイジション時に水平軸のサンプルを正しく位置決めするためにアクセスされます）。クロックの評価時には、合計 250,000 個のクロック・サンプルが収集されます。この数は、クロックの評価スピードと、タイムベースの校正精度のバランスが最もよくなるように決められています。

動作中このモジュールは、基準クロックの振幅、オフセット、形状がその後も変化していないかどうかを継続して監視します。内部で設定されたしきい値を超える変化を

検出すると、それが間欠的であっても、クロックの再評価が必要なことがユーザに通知されます。

基準クロック信号のエッジとデータ信号のエッジの関係は、位相が相対的に安定している必要があります。このタイプのサンプリングでは、クロックがタイムベースになることにより、コモン・モード・ジッタはデータと正確に同じ量だけ時間軸を移動し、その結果、共通のジッタが打ち消し合うため、データとクロック間のコモン・モード・ジッタが除去されます。ただし、このモードでサンプリングされたデータには、共通しない（差分）ジッタが含まれます。ただ、クロックとデータ間のコモン・モード・ジッタを取り除くことができるのは、ジッタの周波数が十分に低い場合か、クロック・サンブラと実際のデータ信号サンブラの伝搬遅延が一致する場合に限られることに注意してください（この条件が実際に満たされることはほとんどありません）。ジッタの周波数が高い場合、2 つのサンブラ間に時間遅れがあると、コモン・モードのノイズとジッタがシステム・ジッタとして現れ、遅れは補正されません。

クロックは、シリアル・クロックである必要はなく、信号レートの整数サブレート（N 分割）にすることもできます。これは、ベースが 10 GHz のクロック源で作成され、多重化された 40 Gbps 信号では一般的です。

82A04 型の主な特長として、広帯域 RF 入力設計になっていること、クロック・サンブラの設定を入力クロックの任意の周波数に合わせて最適化するのに必要な、内部アクイジション・ハードウェアが調整可能なことが挙げられます。このため 82A04 型は、2 ~ 60 GHz（オプション 60G 型の場合）のクロック周波数に対応しています。この動作範囲であれば、任意のデータ・レートで正しく動作することが保証されています。動作範囲が連続しているため、標準外のビット・レートや新しいビット・レートにも対応可能であり、将来にわたってテスト機器が有効に使えます。また、動作範囲が連続しているということは、マージン・テストやデバッグの際も重要です。開発時に被試験装置を、たとえば 10Gbps を 12~14 Gbps などのオーバクロックのビット・レートで動作させて、スペックされた性能が発揮できなくなるポイントを見つけることはよく行われます。また、ベンダやコンポーネント開発会社では、デバッグ段階に動作ビット・レートの 80%

82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュール ▶ アプリケーション・ノート

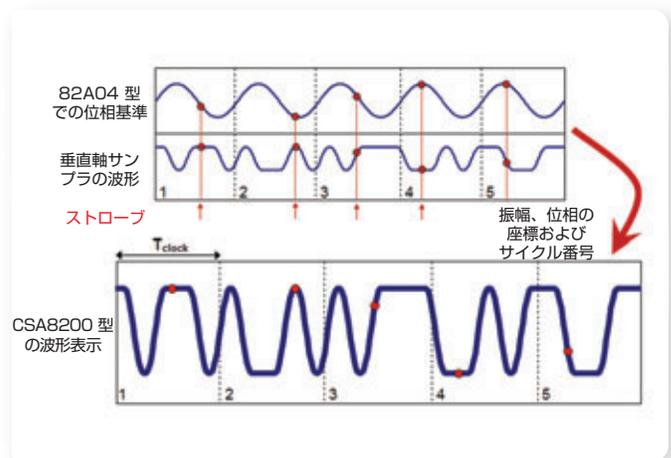
以下で装置を動かし、エラー診断や障害診断を簡略化することもよく行われます。このような、クロック入力範囲が連続しているフェーズ・リファレンス・モジュールは 82A04 型のみです。82A04 型以外の超低ジッタ機能は、固定された狭帯域アーキテクチャをベースにしており、柔軟にレートに対応していません。また、使用可能なクロック周波数の範囲は、クロック入力チャンネルごとに指定された特定のクロック・レートを中心とした狭い範囲に限られます。

82A04 型のもう 1 つの特長は、最大周波数特性です。連続したクロック入力範囲を持つこのフェーズ・リファレンス・モジュールは、指定周波数の 60 GHz を超えると動作を停止するわけではありません。60 GHz を超えた範囲でも使用することができます。ユーザ入力による周波数は最大 110 GHz で、クロックの振幅が十分に大きい場合は、80 GHz のクロック信号まで対応します。60 GHz 以上で動作を制限する要因は、クロック・サンプルの周波数特性のロールオフと、高精度 1.85 mm ("V") 入力コネクタの高次モード共振です。このような共振は一般に 70 GHz 以上で発生し、モジュールが動作できないような、挿入ロスがある狭いノッチ帯域が発生する原因になることがあります。このようなノッチ周波数はパーツごとに異なるため、クロック・レートをモード共振ノッチの中心からわずかに上下させることで、避けることができる場合もあります。

位相補正タイムベース・モード

Triggered フェーズ・リファレンス・モード

Triggered フェーズ・リファレンス・モードでは、従来のトリガ信号をトリガ入力に直接接続するか、またはプリスケール・トリガ入力に接続します。オシロスコープは、トリガ・ポイントを基準にして等価時間サンプル・モードでデータを取込みます。次に、同時に取込んだリファレンス・クロックの位相にしたがって、サンプル・データの位相を正確に補正します。こうして、データのどの部分から波形レコードを取込むかがトリガによって決定されます。



▶ 図 2: Triggered フェーズ・リファレンス・モード。TDS/CSA8200 型に特有なモード。ここでのビット・レートはクロック周波数の 5 倍です。

この考え方を直感的に理解するには、オシロスコープが、トリガ・ポイントからのリファレンス・クロック・サイクルの数を計算し、次に、サンプル・データが取込まれる特定のクロック・サイクル内での位相を測定していると考えます。そうすると、クロック・サイクルの番号は、図 2 に示すように、トリガ・ポイントを基準として絶対的に決まります。このようにして、水平軸は連続するリファレンス・クロック周期から構成されますが、タイミングはトリガに揃ったままです。得られる結果は、従来のサンプリングと同様ですが、クロックの位相情報が追加されているため、システム・ジッタがかなり低く抑えられています。

位相補正のない標準的なタイムベース・モードで動作するサンプリング・オシロスコープの場合、水平軸時間の直線性がわずかにずれています。長いレコード長での波形取込みが必要なアプリケーションでは、長時間にわたり時間軸の精度と線形性が保たれている必要があります。82A04 型と Triggered 位相補正モードの組合せは、整って安定したリファレンス・クロックが使用されている場合、標準の時間軸が不正確になるような原因をシステムから取り除くことができ、長時間にわたって優れた線形性を持った極めて正確な時間軸とすることができます。

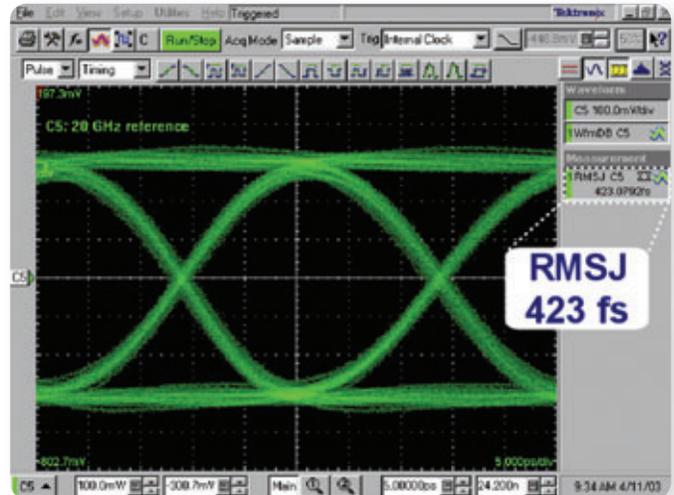
市販されている他の機器でサポートされているのは、Free-Run モードのみであり、Triggered 位相補正モードはサポートされていません。Triggered モードでは、ジッタ・エッジが 200fs 未満の波形をオーバーレイされたアイ・パターンではなく、完全な単一のパターンで表示できます。

最近になって ITU-T は、O.172 を作成しました。この文書は、市販の複数のジッタ解析機器で同じ信号を測定したところ、その測定結果に大きな食い違いがあったことを受けて、ITU-T がジッタを正確に測定するための標準的な位相解析テスト方法を勧告したものです。ITU は、機器による測定方法の違いを避けなければならないと考えていました。O.172 では、サンプリング・オシロスコープを、リファレンス・クロック信号源とした低位相ノイズのシンセサイザと組合せて使用するように規定しています。パターン依存ジッタは、標準な時間軸で同時に取込んだクロック信号とデータ信号の、立上りエッジと立下りエッジの位相差を測定して求められます。ITU が勧告する方法の重要部分が、CSA8200 型と 82A04 型の組合せによる Triggered フェーズ・リファレンス・モードで、使い勝手よくかつ高精度で実現されています。

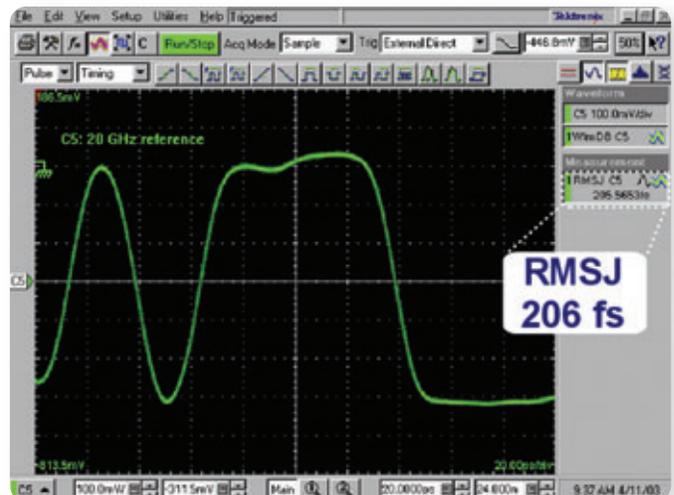
Triggered フェーズ・リファレンス・モードでは、非常に高い精度でジッタとノイズを分離して、高度な波形解析とジッタ解析を実行できます。Triggered 位相補正モードは、等価時間サンプリング・オシロスコープの全機能をカバーしています。このモードでは、従来のようなオシロスコープの使い方、Free-Run フェーズ・リファレンス・モードと同じ $200\text{fs}_{\text{RMS}}$ 未満の低いジッタ・レベルで長いレコードを表示できます。ユーザがパターン・トリガとリファレンス・クロックを入力できれば、パターン全体の波形を超低ジッタで表示できます。現在、市販されている低ジッタ機器で、この Triggered モードができるものは他にありません。

Triggered フェーズ・リファレンス・モードでのジッタの分離

図 3 と図 4 は、同じ 40 Gbps 信号を、それぞれ Free-run フェーズ・リファレンス・モードと Triggered フェーズ・リファレンス・モードで取込んだ波形を示しています。Free-run モードで得られたアイ・ダイアグラムには、低いジッタ ($423\text{fs}_{\text{RMS}}$) が表示されていますが、



▶ 図 3： Free-Run モード。40 Gbps のアイ・ダイアグラム (リファレンス・クロック：20GHz)



▶ 図 4： Triggered フェーズ・リファレンス・モードで取込まれた同じ信号。

エッジには明らかに複数のジッタ成分 (ISI、データ依存、フェーズ・リファレンス・モジュールに残っている残留ランダム・ジッタ、相関のない周期性ジッタなど) が含まれています。新方式の Triggered フェーズ・リファレンス・モードでは、入力されるトリガが繰り返しパターン長に同期している場合は、図 4 に示すように、アイ・ダイアグラムを「アンラップ」することができます。

これで、システムのランダム・ジッタおよび相関のないジッタ (周期性、クロストークなど) が含まれる、単一エッジのジッタ ($206\text{fs}_{\text{RMS}}$) を測定できます。この結果、2 つの測定値の差異は、ISI およびデターミニスティック・ジッタに起因することがわかります。

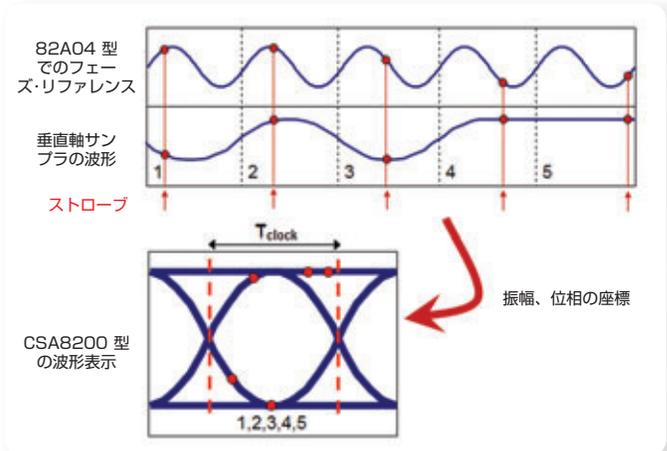
82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュール ▶ アプリケーション・ノート

ジッタの値を測定する際は、ランダムなガウシアン・ジッタは際限がなく、測定するピーク・ピーク値は、理論的には時間の経過とともに無限に大きくなる可能性があることに注意が必要です。目安としては、パーシスタンスが数秒の信号（数百の波形）を取込むと、ジッタのピーク・ピーク値は通常、RMS ジッタ値の 6 ~ 8 倍になります。

Free-Run (非トリガ) モード

Free-Run モードでは、オシロスコープは、垂直チャンネルとそれに対応するリファレンス・クロック位相をランダムにサンプリングします。複数の異なるクロック周期を区別できないため、独自の位相情報は 1 クロック周期に限定され、その結果として図 5 に示すように、すべてのクロック周期が $0 \sim 2\pi$ のオーバーレイ表示になります。なおこのモードでは、トリガ入力は不要です。これは、アクイジション用にオシロスコープの内部タイムベース・ハードウェアを使用せず、その結果、82A04 型がサポートする任意のリファレンス・クロック周波数の波形を発生できるからです。したがって、ランダム・サンプリングでは、トリガなしのデータ・アクイジションが可能です。ある意味では、リファレンス・クロックは、クロック・サンプリング帯域幅によって与えられる使用可能なトリガ帯域幅で仮想的なトリガ信号を形成すると言えます。オシロスコープの水平軸を調整すると、1 クロック周期以上を表示することができますが、1 クロック周期を超えて表示された波形には、内部の独自のクロック周期の対応部分から得られたデータが、単に繰り返しコピーされていることに十分注意することが必要です。つまり、画面上の波形は、単に各クロック・サイクルの繰り返しになります。

入力されるデータ・パターンの繰り返しレートがリファレンス・クロック周期よりも長いかがざり、表示される波形はアイ・パターンになります。このため、Free-run (非トリガ) モードは一般にアイ・ダイアグラム解析で使用されます。このモードでは、タイミング精度は高いのですが、すべてのデータ・ポイントが 1つのクロック周期ウィンドウに「折り畳まれる」ことから、機能面に大きな制約があります。



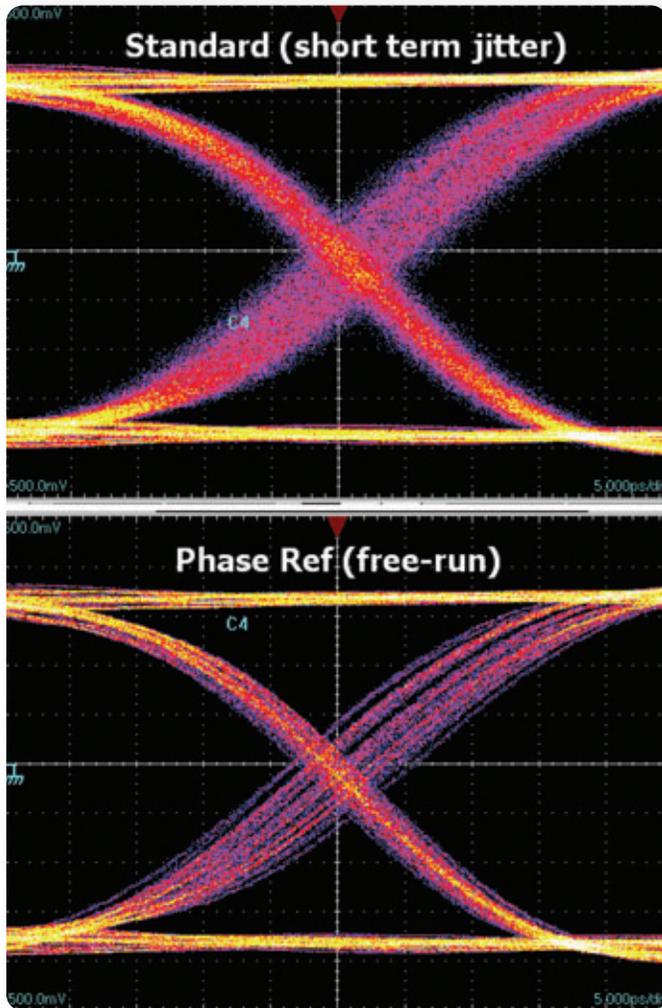
▶ 図 5: Free-Run モードでのサンプルの並び替え。抽出したクロック位相サンプルは、データ・サンプルの水平方向の位置決めに使用されます。この例では、クロック周波数はビット・レートと同じです。独自の情報の範囲は 1 UI に限定され、赤の点線で示されています。

標準のCSA8200 型タイムベースよりもトータル・ジッタが大きな比較的低速のデータ・レートでも、フェーズ・リファレンス・アクイジションのメリットが得られることがあります。図 6 の例に示すように、さまざまなデータ・シーケンスから得られたエッジの、個々のデータ依存性 (ISI) のばらつきは、フェーズ・リファレンス・モジュールを使用したほうがより明瞭に表示できる場合があります。

フェーズ・リファレンス・モードで選択可能な最小水平時間は、100fs/div と非常に小さいため、高速なエッジを高い分解能で検査できます。

リファレンス・クロックの必要条件

ほとんどのクロックは、理想的な正弦波ではありません。クロックには高調波が含まれ、デューティ・サイクルが歪み、アベレーションやリングングが発生していることがあります。クロックの形が過度に歪むと、たとえば、補正が行われない場合などクロックの位相抽出方法が曖昧になることがあります。仮に補正が行われないとした設計の場合に、高調波歪みがどのように影響するかを定量的にシミュレートした結果によると、10 GHz のリファレンス・クロック信号に 20% の第 2 次高調波の振幅成分



▶ 図 6： フェーズ・リファレンス・モードにより、機器のジッタが少なくなっています。また、標準的なショート・ターム・ジッタのモードでは表示できなかったデターミニスティック・ジッタに関する詳細も明らかになっています。

が含まれる場合、タイムベースに沿ったシステム・ジッタの不均一な劣化は最大 30fs_{RMS} になります。同様に、第 3 次高調波の振幅成分が 20% の 10 GHz のリファレンス・クロックでは、(非補正の設計の場合) ジッタの劣化が最大 60fs_{RMS} になります。

クロック信号のフィルタリング

非正弦波のクロック信号を、前述の性能劣化なしに受け入れるには、高調波成分を減少させるようにクロック信号を調整する必要があります。これを実現するために 82A04 型では、プログラミング可能なフィルタ処理を内部で実行して、クロック・サンブラの帯域幅を調整しています。サンブラの周波数特性は調整可能であり、クロック周波数を入力すると、最適な値が自動的に設定されます。通常はこの方法により、8 ~ 60 GHz のクロック信号に対して、適切なフィルタ処理が行われます。8 GHz 未満の場合、82A04 型の内蔵フィルタでは効率よく処理できないため、2 ~ 8 GHz の範囲の非正弦波は、さらに外部でのフィルタ処理が必要になります。

82A04 型には、それぞれ 2 ~ 4 GHz、4 ~ 6 GHz、6 ~ 8+ GHz のクロック範囲をカバーする 3 種類のフィルタがオプションで用意されています。オシロスコープでクロックを評価する際、クロック信号が過度に歪んでいると判断された場合、ユーザに対して「クロック波形に問題あり」と通知されます。この場合、外部フィルタで歪みを矯正する必要があります。硬い SMA バレル・アダプタを使用して、82A04 型の入力にフィルタを直接接続することは推奨できません。このように長いレバーアームで構成した場合は機械的なストレスが発生し、高い信頼性を保ち、精密に調整された 82A04 型の 60 GHz 入力アセンブリにダメージを与える可能性があるためです。フィルタと 82A04 型との接続には柔軟なケーブルを使用し、ストレスが少ない構成にしてください。

フィルタ処理して得られた 82A04 型システムのクロック信号波形にも、通常はある程度の非正弦波成分がまだ残っています。この成分はわずかなので、クロックの校正ルーチンで不完全な部分を評価し補正して、フェーズ・リファレンス・モードで使用できるようになります。この波形が安定している限り適切に動作します。

82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュール ▶ アプリケーション・ノート

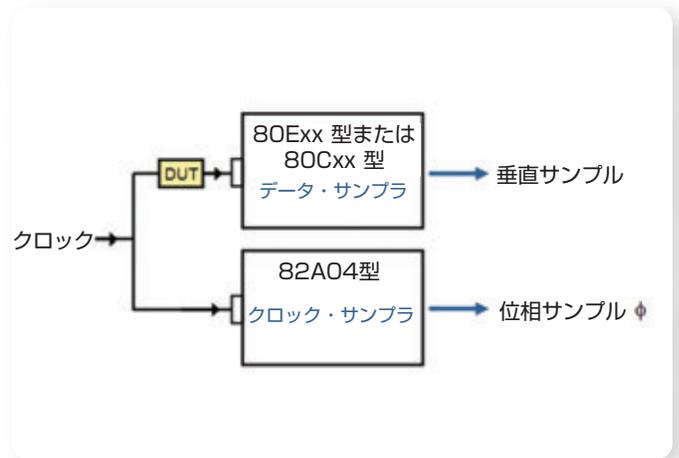
以上をまとめると、期待したジッタ性能を得るには、高調波成分が少ないクロック波形を使用することが望ましく、その条件は、8 GHz 以上では内部フィルタによって実現されます。それより低いクロック周波数では、外部フィルタが必要な場合があります。ここで、フェーズ・リファレンス・モードで最良の性能を得るための他のキー・ポイントについて説明します。

▶ システムに固有なジッタ、言い換えれば、水平軸のタイムベースの位相ノイズは、クロック電圧測定におけるランダムな垂直ノイズによって決まります。機器のジッタ・フロアを最小限に抑えるには、最高の S/N 比でクロックを測定する必要があります。ノイズの主要成分は、サンプリング・ゲート回路の熱ノイズと、リファレンス・クロック信号自体に含まれる振幅ノイズの 2 つです。ノイズがまったくない 1V_{p-p} 未満のクロックを 82A04 型に入力した場合、内部のサンプラ・ノイズとストローブの伝達回路の残留ジッタにより、タイムベースの不確かさは $150f_{S_{RMS}}$ 未満に抑えられます。ユーザが SNR を改善するには、入力する正弦波クロック信号のスルー・レートを大きくすることが効果的です。

- 与えられたデータ・レートに対して、最大のリファレンス・クロック周波数を使用します。ただし Free-Run モードでは、独自のデータ情報の周期が短くなることに注意してください。

- 82A04 型入力の 1.8 V_{p-p} ダイナミック・レンジ全域を利用できるように、リファレンス・クロックの振幅を最大にしてください。クロック信号が大きくなれば、固定されたサンプラ・ノイズがクロック信号の電圧測定に与える影響が少なくなります。

▶ クロックの振幅は、最低でも 600mV_{p-p} にします。このモジュールは、600mV_{p-p} 未満でも完全に動作しますが、クロックの振幅が小さくなると、クロック・サンプラに含まれるランダム・ノイズがクロック振幅に対して相対的に無視できなくなり、位相の不確か性に影響して、機器のジッタ特性の劣化を招きます。



▶ 図 7: DUT ジッタ転送測定 of 概略構成図

▶ 82A04 型の温度補正が適切に行われているとともに、その補正状態が前回補正時の $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内になっていることを確認します (メニューの Utilities > Compensation で確認)。

DUT ジッタ (ジッタ伝達関数) の測定

図 7 は、DUT のジッタの測定方法を示しています。高精度の結果を得るには、オシロスコープとクロック源による固有の影響を測定して全体の測定値を補正し、DUT の影響分を抽出する必要があります。クロック信号は、フェーズ・リファレンス・モジュールと垂直軸のサンプリング・モジュールの両方に入力されます。ジッタ測定は、垂直軸のサンプル経路に DUT を挿入して一回、挿入せずに一回行います。DUT を挿入しない方法で、測定システムに元から存在するジッタのノイズ・フロアを求めることができます。

クロックとデータに共通するジッタ、またはクロックとフェーズ・リファレンス・システムに入力されるクロック信号 (分周クロックも含む) に共通するジッタは取り除かれます。次に、垂直軸のサンプル経路に DUT を挿入した場合と、DUT を挿入していない場合と比較して、DUT のジッタ生成を測定することができます。

ほとんどの場合、機器と DUT のジッタの影響はランダムで相関はありません。したがって、ジッタの RMS 値はそれぞれの二乗和の平方根として加算されます（それぞれにガウシアン分布のノイズがあると仮定）。

重要な点は、ジッタ・フロアを可能な限り低く抑えるには、クロック・ソースから垂直軸サンブラまでと、クロック源からフェーズ・リファレンス・モジュールまでのケーブル経路を等距離に保つことです。これにより、クロック・シンセサイザに含まれる位相ノイズは、サンプリング・ゲートで同期することになり、位相ノイズは揃ってサンプリングされ、測定から除かれることとなります。また、クロック源自身の位相ノイズを確認する場合は、DUT を含まない構成（図 2 を参照）のいずれかのケーブル経路に適切な遅れを加えます。この場合、クロックの位相ノイズは（経路差に起因する伝達遅れに対応する周波数より高い領域で）不揃いにサンプリングされるため、ケーブル長が同じ場合の構成と比較してジッタの値が増加します。原理的には、遅れの長さを変更することで、さまざまな位相ノイズ周波数範囲をテストできます。

柔軟性

CSA8200 型と 82A04 型の組み合わせによる Triggered フェーズ・リファレンス・モードは、FrameScan® を拡張して高いレベルのタイミング精度を実現します。高精度でビット・シーケンスを調べると、特にアベレーシングを有効にしている場合は、ピコ秒以下の ISI の様子を容易に表示できます。これには、フェーズ・リファレンス・モジュールのタイムベースが必要です。

リファレンス・クロックが利用できない場合は、クロック・リカバリ・モジュールで復元したクロック出力を使用することができます。TDS/CSA8200 シリーズのプラグインには、50 Mbps から 12.6 Gbps のすべての標準レートについて、専用のクロック・リカバリ電気モジュールのほか、クロック・リカバリ付の光モジュールが用意されています（この場合のアクイジション・ジッタ特性は、クロック・リカバリの性能に依存します）。TDS8200 型、CSA8200 型 メインフレームには、プラグイン・スロットが 6 個あり、クロック・リカバリと、低ジッタのフェーズ・リファレンス・タイムベース・モジュールを 1 つのメインフレーム内で組合せて使用すること

Framescan®

Framescan® は、マスク・エラーの箇所を検出し、ビット・パターン依存のエラー・メカニズムをデバッグするための強力なツールとして動作する高度なアクイジション・モードです。また、ランダム・ジッタとデターミニスティック・ジッタを分解する高度な機能にも対応しています。

が可能です。実際、フェーズ・リファレンス・タイムベース、クロック・リカバリ、および最大 4 チャンネル・データ入力（4 チャンネル電気入力、または 2 チャンネル光入力 + 2 チャンネル電気入力）を 1 つのメインフレームで同時に使用できます。クロック・リカバリが不要な場合は、フェーズ・リファレンス・タイムベース・モードで、最大 6 チャンネル・データ入力を構成できます。

フェーズ・リファレンス・モジュールは、電気モジュール・エクステンダ・ケーブルで使用した場合でも、そのすべての仕様を満足します。エクステンダ・ケーブルを使用すると、フェーズ・リファレンス・モジュールを、クロック信号または DUT へのアクセスが可能な位置に簡単に移動できます（この移動は、配置や配線の制約により、クロック信号をメインフレームに直接入力できない場合に行います）。

アクイジション速度

フェーズ・リファレンス・モードでの位相の並び替えアルゴリズムは、リアルタイムで実行されます。この処理には、非常に多くの計算が必要です。CSA8200 型には、アクイジション・チャンネルごとに専用の DSP が搭載されており、フェーズ・リファレンス・モードでは、毎秒最大 57,000 サンプルという高いレートでデータを取込むことができます。これは、他の機器の超低ジッタ・モードよりも 50% 以上速い処理速度です。アクイジション・レートが高速であるため、Framescan と組合せて平均処理を行って、ランダムな垂直軸ノイズを除去するとともに、入力信号の垂直軸と水平軸の両方のデターミニスティック・ジッタ成分に関する情報を短時間で得ることができます。

まとめ

82A04 型の構造は、超低ジッタのタイムベースをより柔軟でコンパクトに実装できます。また、クロックのフィルタリングと位相のサンプリングに、固定式で嵩張る部品と、調整ができない個別フィルタを採用している競合製品のような制約もありません。

82A04 型と CSA8200 型または TDS8200 型を組み合わせることで、フェーズ・リファレンス・タイムベース機能が斬新な方法で実装されることとなります。そして、ユーザは思い通りにタイムベースとアキュイジション・モードを選択できます。動作範囲内の周波数であれば、あらゆるフェーズ・リファレンス周波数に対応するとともに、FrameScan® などの高度な機能も利用できます。このオシロスコープは、リファレンス・クロック周波数が 2 ~ 60 GHz の範囲で連続し、強力な Triggered フェーズ・リファレンス・モードを実現した市販されている唯一のサンプリング・オシロスコープです。CSA8200 型、TDS8200 型の構造は、アキュイジション・スロットごとに個別の DSP が装備され、フェーズ・リファレンス・モードで実現されるアキュイジション・レートは 毎秒 57,000 サンプル を超えており、要求の厳しい研究所の作業や、スループットが重要視される製造環境に適しています。

テクトロニクス以下の連絡先までご連絡ください。

ASEAN / オーストラレーシア/ パキスタン (65) 6356 3900

イタリア +39 (02) 25086 1

インド(91) 80-22275577

英国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

韓国 82 (2) 528-5299

スイス +41 52 675 3777

スウェーデン 020 08 80371

スペイン +34 (901) 988 054

台湾 886 (2) 2722-9622

中央東ヨーロッパ、ウクライナ、およびバルト諸国 +41 52 675 3777

中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777

中国 86 (10) 6235 1230

中東、アジア、および北アフリカ +41 52 675 3777

デンマーク 80 88 1401

ドイツ +49 (221) 94 77 400

日本 81 (3) 6714-3010

ノルウェー 800 16098

バルカン、イスラエル、南アフリカ、およびその他の東ヨーロッパ諸国 +41 52 675 3777

香港 (852) 2585-6688

フィンランド +41 52 675 3777

ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360

フランスおよび北アフリカ +33 (0) 1 69 81 81

米国 1 (800) 426-2200

米国（輸出版売）1 (503) 627-1916

ベルギー 07 81 60166

ポーランド +41 52 675 3777

ポルトガル 80 08 12370

南アフリカ +27 11 254 8360

メキシコ、中米およびカリブ諸国 52 (55) 56666-333

ルクセンブルグ +44(0) 1344 392400

ロシア、CIS およびバルト諸国 7 095 775 1064

その他の地域からのお問い合わせ : Tektronix, Inc.1 (503) 627-7111

2004年11月3日更新

詳細情報

Tektronix は、総合的に継続してアプリケーション・ノート、テクニカル・ブリーフおよびその他のリソースのコレクションを保守整備し、技術者が最先端で仕事ができるように手助けをします。

www.tektronix.com または www.tektronix.co.jp を参照してください。



Copyright © 2004, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix 製品は、米国およびその他の国の特許（出願中を含む）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。

12/04 DMWOW

85Z-18385-0

Tektronix
Enabling Innovation