新技術ATIで実現した70GHz帯域のリアルタイム・オシロスコープ

テクトロニクス社は、数々の技術革新を搭載した超広帯域リアルタイム・オシロスコープDPO70000SX型70GHz ATIパフォーマンス・オシロスコープを発表した(図1)。

図1　70GHz帯域のリアルタイム・オシロスコープDPS77004SX(2ユニットシステム)。真ん中あたり、ATIと表示してあるのが70GHz周波数帯域、200GS/sのチャネル。隣の2chsが33GHz、100GS/s。いずれもサンプルレコード長は1G。ディスプレイの右にあるのがDPO7AFP型外部フロント・パネル(Auxiliary Front Panel)。これを使用すると、1台または複数ユニット使用の場合でも、一般的な機器設定が直接行え、通常のベンチ・オシロスコープと同じように操作できる。図から分かるもう1つの特長は、「クラス最小のコンパクト・パッケージ」。高さわずか13.3cmの小型パッケージ。2台のユニットを積み重ねれば、標準のベンチ・オシロスコープ1台と同じスペースで使用することができる。

ATIオシロスコープの技術革新

同社の新製品、リアルタイムオシロスコープDPO70000SX型の特長として同社は、世界初のATI技術、200GS/sのサンプル・レート、小型パッケージング、UltraSyncアーキテクチャーを挙げている。

実は、この新製品は、ATI技術を採用したDPO77002SXとATI技術搭載ではない33GHz帯域、100GS/sのDPO73304SXとに分けられる。DPO7に続く70は70GHzを、33は33GHzを示している。

ここでは、広帯域を実現する同社の特許技術ATI(非同期タイム・インターリーブ、Asynchronous Time Interleaving)を紹介していく。

これまで、同社の競合ベンダーは、周波数インターリーブ技術を採用することで広帯域を実現してきた。これは、アナログ信号をデジタル化するためのADCに広帯域を処理する能力がないためで、その対策の一つが周波数インターリーブという技術。この技術では、入力信号を高い周波数と低い周波数に分割し、高い方だけをダウンコンバートして低い周波数に換える。その後、ローパスフィルタを通してそれをデジタル化する(**図2**)。

この方式の問題点は2つあるとして、次のように指摘している。

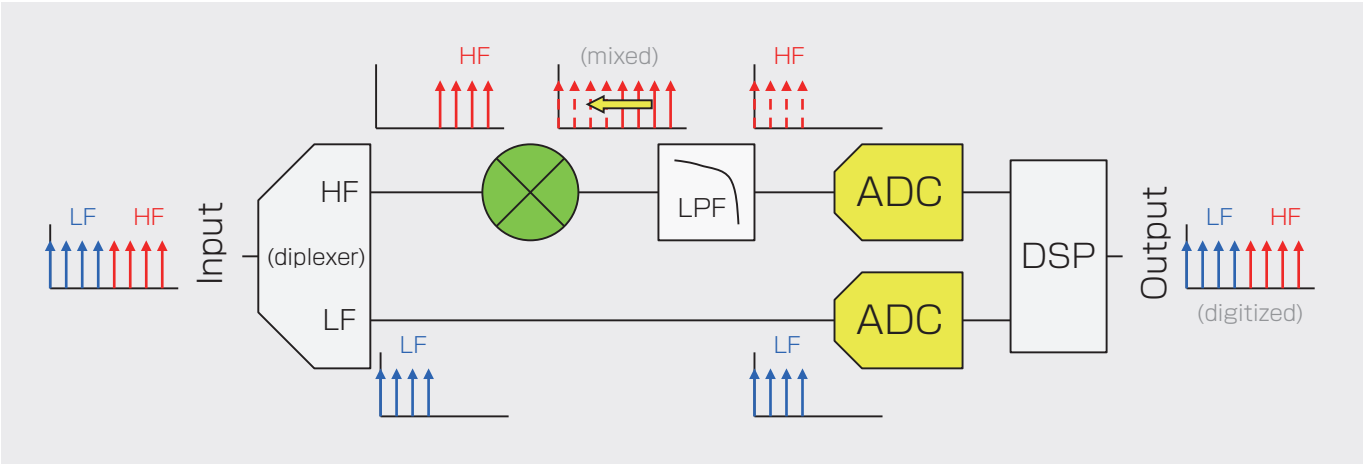

図2　テクトロニクス社の競合測定器ベンダが採用している従来の周波数インタリーブ技術。問題点として、各ADCが半分のスペクトラムをデジタイズしていること、加算による信号再構築でSNRが劣化することがある。

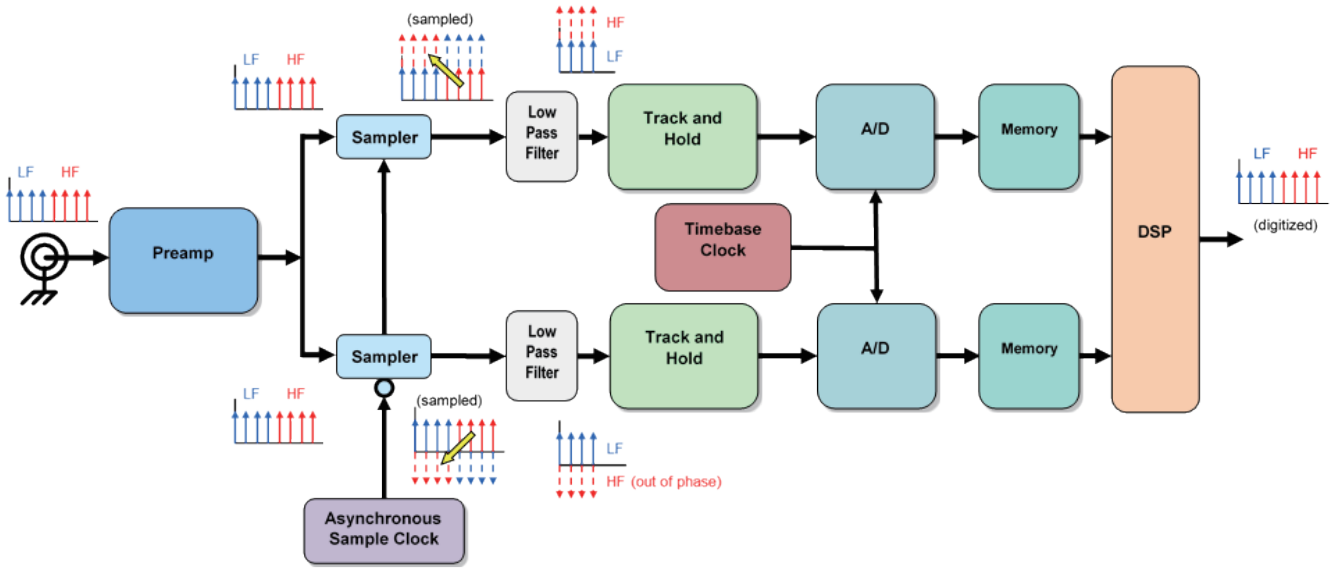

図3　テクトロニクス社が採用しているATIインターリーブ回路のブロックダイアグラム。左側、プリアンプの後のサンプラが上下に2個並んでいる部分がATIブロック。競合ベンダの方式との大きな違いの1つは、対称構成になっている点。さらに、タイムインターリーブではあるが、それを高度化した独自のATI技術としている点。

2つのプリサンプラは、位相が180°反転している。信号リコンストラクトでは、この点が重要になる。信号リコンストラクトのデジタルミキシング段の後、選択信号は元の取得データの和スペクトルと差スペクトルを含んでいる。信号の最終的な結合段では、180°位相反転のスペクトル部分はキャンセルとなり、残るのは元のスペクトル、75GHzローパスフィルタで除去した和スペクトル部分となる。これにより、アクイジションするようにスコープに本来与えられたDC～70GHzのコンテンツだけが残ることになる。

最終の結合段は、2分割されたものの合算となる。この機能によって入力振幅が元の値に戻るが、アクイジション全体のノイズはアベレージング効果により、計測チャネルのノイズ全体が一層下がることになる。

「まず、非対称となっているパスの違いが影響する。信号のリコンストラクションは非常に難しい。パスの違いにより、スティッチングの部分、広帯域部分と低滞域部分とのつなぎ目にギャップが出る。例えば、30GHz付近の振幅が2dB、20%落ちる。この部分で計測すると20%低い信号値として現れ、正確な測定にならない。もう1つ、それぞれ半分の周波数の信号に重畳したノイズが、リコンストラクトすると加算され、ノイズが増える」。

指摘されている問題点は2つあり、スティッチング部分の振幅低下とノイズの増加である。このスティッチング部分の問題は、単にパスがシンメトリックでないことだけでなく、周波数インターリーブという方式そのものに問題があるともとれる。これらを克服する技術は、周波数インターリーブではなく、タイムインターリーブではあるが、ただADCの数を増やしてインターリーブすると「デバイスのタイム・アライメントのコントロールが難しくなる」として同社は、それにさらに一工夫した新技術ATIを開発した。同社の説明を聞く限りでは、ATIは「パラダイムシフト」と言っていいだろう。ATI技術については次のようになっている。

「70GHzの信号が入ってきてそれをサンプルするが、通常はこれを正しくサンプルするには少なくとも2倍、実際には2.5倍のサンプルレートが必要になる。ここでは、70GHzに対して75GS/sサンプルしている。すると、エイリアシング(aliasing)を起こす。75GS/sでは取り切れないので、周波数帯域が折り返される。これがエイリアシングである。70GHzをすべて取り切ることができないため、低い周波数に高い周波数がいっしょに折り返される、つまりエイリアシングを起こす。折り返された部分は偽の信号ではあるが、実際の広帯域の信号の虚像がすべてこちらに入っていることになる。75GS/sの半分、37GS/sの中に全ての信号が収まっている」。

普通なら、エイリアシングはネガティブ要素だが、これを積極的に利用するところに同社のブレイクスルーがある。何が画期的かが見通せるように、同社のホワイトペーパーからATIブロック図の説明を引用しておこう(**図3**)。

「スペクトル全体をプリアンプに入れ、スプリッタを通して各プリサンプラに分ける。プリサンプラの出力は、下のバンドレンジに折り畳まれた上のバンドの差スペクトル、上のバンドレンジにオーバーレイされた下のバンドの和スペクトルを含むスペクトル。この複合スペクトルは次に、上のバンドを除去するローパスフィルタを通過するが、(折り畳まれた上のバンドコンテンツを含む)下のバンドはそのまま

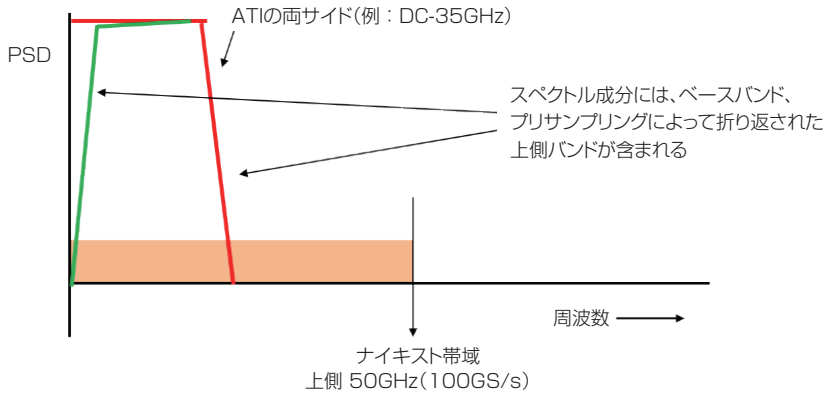

図4 ノイズ低下の仕組み。テクトロニクス社の説明では、「周波数インターリーブでは、半分の帯域しか通していなかった。ATIでは全帯域を通すのでノイズ低減となる。DSPでリコンストラクトするとき、同じフル帯域を足すので半分にしなければならない。足して2で割るのでアベレージングになる。信号はアベレージで正しい値に戻るが、ノイズはアベレージ効果で半分になる。つまり3dBダウンとなる。2段階でノイズ低減が実行されている」。ノイズはさらに下がる。同社説明によると、測定器は現在ファインチューニング中であり、出荷時にはノイズはさらに下がる見込みである。

となる。このフィルタリングされた信号は今度は、トラック＆ホールドに送られ、ADCでキャプチャーされる。アクイジションが完了すると、データはメモリに格納され、DSP技術を使用してデジタル的に信号を再混合することで元の信号が回復される」。

この方式の優れた点は、エイリアシングを含め、信号全体をアクイジションしていること。つまりスティッチングの部分で振幅が低下するようなことが起こらない。また、リコンストラクトしたときにノイズが2倍になるような事態も生じない(**図4**)。

クラス最小のコンパクトパッケージ

システム構築の柔軟性向上のため、DPO70000SXシリーズ・オシロスコープは高性能、高機能をクラス最小、高さわずか13.3cmの小型パッケージに収容している。2台のユニットを積み重ねれば、標準のベンチ・オシロスコープ1台と同じスペースで使用することができる。

コンパクトパッケージの重要性について、同社は信号パス長の短縮の視点から説明している。特に70GHz帯域で作業する時には、ケーブル長による信号品質への影響を可能な限り少なくするために、最小パス長とすることが望ましい。マルチユニットで使用する場合、例えば測定器の間に光変調アナライザ(OM4245/45GHz)を挿入し、下段のオシロスコープを上下逆にしてパス長を短縮する構成とすることが可能になっている。あるいは、オシロスコープを対向させて、その間にDUTを入れて使用する構成も可能になっている。測定器の設置構成は極めて柔軟性が高い。

他にどんな使い方ができるかは、以下の説明がほぼカバーしている。

DPO77002SX型は70GHz、200GS/s、1ch、または33GHz、100GS/s、2chsで使用できる。デュアル・ユニット・システムとして2台のDPO77002SX型を同期させることにより、70GHz、200GS/s、2chs、または33GHz、100GS/s、4chsを、統合された1台の計測器として使用できる。デュアル・ユニット・システムは、必要に応じて簡単に別々のユニットに分離することも可能。また、DPO7AFP型外部フロント・パネルを使用すると、1台または複数ユニット使用の場合でも、一般的な機器設定が直接行え、通常のベンチ・オシロスコープと同じように操作可能。

DPO70000SX型の優れた拡張性により、必要とする性能、チャンネル数は簡単に拡張可能。例えば、通常33GHz、4chs構成、詳細観測時に70GHz、2chsというユニット構成であれば今日の大部分のアプリケーションには十分であるが、将来、ニーズの変化に応じてさらに2台を追加することで70GHz、4chs構成も可能であり、この場合も、すべてが1台の計測器として機能する。

マルチ構成を可能にするUltraSync

高速のコヒーレント光アプリケーションでは、複数の計測器の正確なタイミング同期が求められる。UltraSyncは高性能な同期機能と制御バスにより、複数のDPO70000SX型オシロスコープを連携させ、このようなアプリケーションで必要になる正確で高速な複数チャンネル・アクイジションを可能にする。

UltraSyncには、通常の1台の計測器内でのチャンネル間ジッタと同等の固有アクイジション間ジッタを実現する12.5GHzのサンプル・クロック・リファレンスと、トリガ・バスが含まれている(同期トリガ、500fsRMS未満の取込間ジッタ)。さらに、解析のために拡張ユニットからマスタ・ユニットに波形を転送するための高速データ・パス(PCI Express)も含まれる。個々のオシロスコープは取込んだ信号を完全に処理し、処理が完了した波形のみがマスタ・ユニットに送られるので、チャンネルをさらに追加してもパフォーマンスに影響を与えることはない。UltraSyncでは光テスト・ソフトウエアによる複数アクイジション・システムにも対応しており、非常に正確な光変調解析を可能にしている。 (井上 憲人)LFWJ