

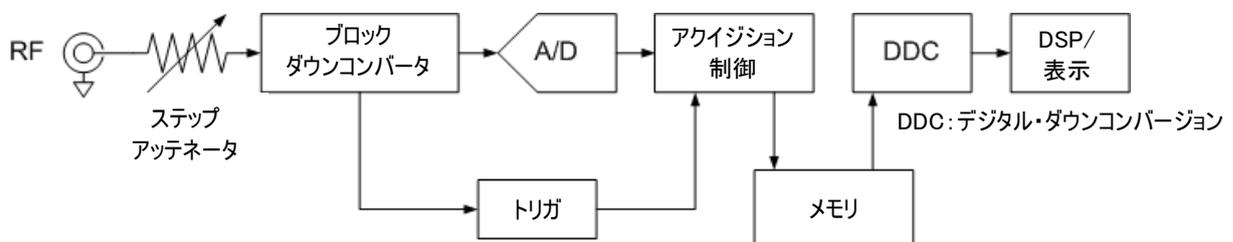
MDO4000 シリーズのスペクトラム・アナライザ ダイナミック・レンジの真実

概要:

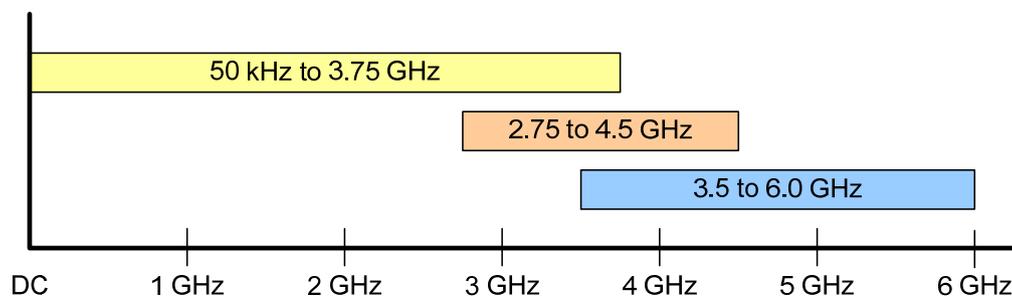
- MDO4000 シリーズは、オシロスコープのアクイジション技術を利用して、エン트리・レベルのスペクトラム・アナライザ同等のスペクトラム忠実度を実現している
- MDO4000 シリーズで採用されている設計技術により、従来のオシロスコープで見られる一般的な FFT 機能に比べ、はるかに優れたスペクトラム忠実度を実現している

ブロック図

以下で説明する内容を理解するためには、MDO4000 シリーズの RF 入力におけるアクイジション・アーキテクチャを理解しておくことが重要になります。簡略化したブロック図を以下に示します。



MDO の中核をなすものは、ほとんどのテクトロニクス製のオシロスコープで使用されている、テクトロニクス独自の A/D コンバータと同じものです。8 ビットの A/D コンバータは 10GS/s でサンプリングし、入力帯域は 5GHz を超えています。6GHz の入力周波数応答を実現するため、MDO では A/D の前にダウンコンバータを使用しています。このダウンコンバータは、以下の入力周波数レンジをサポートしています。



メモリにデータが取込まれると、ハードウェアとソフトウェアを組み合わせた技術によりデジタル・ダウンコンバージョン (DDC) が行われ、信号忠実度を大幅に改善します。さらに、離散フーリエ変換 (DFT) によるスペクトラム処理により、スペクトラム・データを表示します。

これは、最新のスペクトラム・アナライザで採用されているアーキテクチャと基本的に同じものですが、相違点を以下に記します。

- サンプル・レートは非常に高く、結果として測定帯域幅も広い
- 固定されたダウンコンバージョン・レンジの数が少ない

この後、信号経路におけるスペクトラム忠実度改善で使用されるさまざまな技術について説明します。

MDO4000 シリーズのスペクトラム・アナライザ、ダイナミック・レンジの真実

RF 入力の改善による優れた忠実度

RF 測定のために専用設計された RF 入力部を装備しているため、信号入力部の設計を最適化してスペクトラム忠実度を改善しています。

- BNC の代わりに高忠実度の N 型コネクタを使用しており、デバイスへの接続を容易にしています。
- 一般的なオシロスコープの入力部と違い、RF 入力部は DC 信号を通過させる必要はなく、オフセット機能を持たせる必要もありません。このため、アッテネータやアンプのコンポーネントは、スペクトラム解析での使用に最適化されています。
- シールド性能が著しく改善されています。

プロセス・ゲインによる感度の改善

8 ビットの A/D コンバータを使用することと、100dB 以下の信号をフルスケールで観測することには矛盾があるかもしれません。この矛盾は、信号対ノイズ比 (SNR) の分解能に関する次の式で表わされます。

$$SNR = 6.02N + 1.76dB$$

ここで、 N は分解能のビット数です。8 ビットの A/D コンバータのノイズ・フロアは、フルスケールでもせいぜい -50dB です。これは、このレベル以下の信号は表示できないことを示しています。

ここで理解しておくべき重要なポイントは、この式で予測されるノイズは広帯域であり、A/D コンバータの帯域全体に均一に拡散しているということです。DDC (デジタル・ダウンコンバータ) と DFT (離散フーリエ変換) を組み合わせることで、実際に処理し、表示するデータのデータ帯域を抑えることができるため、ノイズ・フロアは抑えられ、結果として微小な信号も観測することが可能になります。この効果をプロセス・ゲイン^{*1}と呼び、次の式で表わされるように SNR は改善されます。

$$Process\ Gain = 10 \log_{10} \frac{f_s}{2 * RBW}$$

ここで、 f_s はサンプル・レート、 RBW は DFT の分解能帯域幅です。例えば、10MHz のスパン、10kHz の RBW の場合 (MDO4000 シリーズのサンプル・レート: 10GS/s)、SNR は約 57dB 改善されて約 107dB になります。^{*2}

エントリーレベルのスペクトラム・アナライザの一般的な A/D のサンプル・レートは 20MS/s であり、この SNR の性能を実現するためには 12.5 ビットの分解能が必要になります。

スペクトラム・アナライザの表示平均ノイズ・レベル (DANL) の仕様は、dBm/Hz の単位で表わされています。これは、システムのノイズが広帯域であるためです。特定の設定におけるノイズ・レベルは、 RBW の設定で決まります。これは、一般的なスペクトラム・アナライザにおいて、 RBW が 1/10 になればノイズ・フロアも 10dB 低減されることからわかります。プロセス・ゲインは、このことをシンプルに表わしています。

¹ 詳細については、アナログ・デバイス社の入門書 (MT-001、www.analog.com) をご参照ください。

² その他の要因により、MDO4000 シリーズの性能はこの理論値とは多少異なります。詳細については、MDO4000 シリーズのデータ・シートをご参照ください。

MDO4000 シリーズのスペクトラム・アナライザ、ダイナミック・レンジの真実

ノイズ性能を理解する上でもう一つ重要なポイントは、一般的なスペクトラム・アナライザ(14ビットまたは16ビットのA/Dを使用している場合)のダウンコンバータのノイズ出力はA/Dのノイズ・フロアよりかなり大きいということです。これは、ミキサとA/Dコンバータ間のゲインが大きいためです。高分解能のA/Dで歪みを抑え、ダウンコンバータのミキサ入力レベルを下げるためには、大きなゲインが必要になります。MDO4000シリーズでは、ダウンコンバータの歪みのみを8ビットA/Dの歪みよりも低くしておけばよいので、ダウンコンバータの入力レベルは高くとることができます。この場合、ノイズ・フロアはA/Dコンバータ自身のノイズ・フロアに近づきます。この結果、MDO4000シリーズのDANLの仕様は、一般的なスペクトラム・アナライザの仕様に近い値になります。

ディザによる SFDR の改善

また、8ビットのA/Dコンバータを使用することと、スペクトラム測定で必要となるスプリアス・フリー・ダイナミック・レンジ(SFDR)性能には矛盾があるかもしれません。

A/Dコンバータでは、微分非直線性(DNL)誤差は、周波数ドメインにおけるスプリアスとして現れます。^{*3} 分解能の低いA/Dコンバータは一般的にDNL誤差が大きいため、結果としてSFDRは小さくなります。

一般的なA/Dコンバータでは、DNL誤差は広く分散せず、A/Dコードのサブセットに影響を及ぼします。このため、ディザを使用してDNL誤差を低減し、SFDRを改善しています。ディザは入力信号に付加するランダム信号であり、複数のA/Dコードにエネルギーを分散させることで、すべてのコードにおける個々のDNL誤差を効率よく平均化します。

ディザを加えることで、DNL誤差によって生ずるスプリアスがノイズ・フロア近くまで押し下げられます。

MDO4000シリーズでは、ディザは3.75GHzのIFフィルタのカットオフより上、A/Dの5GHzのナイキスト周波数より下で加えられます。加えられるディザ信号は目的のスペクトラム外であり、ダウンコンバージョン時にフィルタリングされます。

余談ですが、MDO4000シリーズの残留スプリアス応答の仕様は2.5GHzのスプリアスで制限されます。このスプリアスは、10GS/sのA/Dを構成する4つの2.5GHzのユニット間のゲインとオフセットの不整合によって発生するため、それ自体は追加されるディザによっては影響を受けません。このスプリアスは周波数で固定されており、低コストの無線通信で使われている2.4GHz ISMバンドより上にあります。ディザは、その他のすべての周波数でSFDR性能を向上させます。

³ 詳細については、アナログ・デバイス社のアプリケーション・ノート(AN-410、www.analog.com)をご参照ください。

MDO4000 シリーズのスペクトラム・アナライザ、ダイナミック・レンジの真実

まとめ

オシロスコープ技術を使用して忠実度の高いスペクトラム・アナライザを構築することは、従来の機器からは大きな変化ではありませんが、以下のような技術を使用することで効率的に実現しています。

- 専用の RF 入力部の使用による信号忠実度の改善
- DDC と DFT を使用したプロセス・ゲインによる感度の改善
- ディザによる SFDR の改善

これらの技術を使用することにより、MDO4000 シリーズはスペクトラム測定に必要なスペクトラム忠実度を実現しながら、以下に示すようなオシロスコープ技術による優れた特長も併せ持っています。

- 任意の入力において、最低でも 1GHz の広帯域信号取込みを実現
- スペクトラム・アナライザの一般的なゼロ・スパンよりも優れた RF 時間ドメイン・データ観測機能
- アナログ・チャンネルとデジタル・チャンネルの時間相関機能

MDO4000 シリーズの機能、アーキテクチャの詳細については、「Fundamentals of the MDO4000 Series Mixed Domain Oscilloscope」(当社ウェブ・サイト www.tektronix.com からダウンロード可能)をご参照ください。

MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープ

スペクトラム・アナライザを内蔵した唯一のオシロスコープ

世界初を実現している機能の数々

- 時間相関のとれたアナログ信号、デジタル信号、RF 信号を同時に取込み、デバイスのシステム動作の観測が可能
- 時間ドメインと周波数ドメインを一度に表示
- 任意の時間における RF スペクトラムの変化を、時間またはデバイスの状態をもとにして観測可能
- 複雑な設計問題であっても、すばやく、効率的に解決

当社ウェブ・サイト(www.tektronix.com/ja/mdo4000)をご参照ください。

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階
ヨコ良い オシロ
テクトロニクス お客様コールセンター TEL:0120-441-046
電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~18:00 (土・日・祝・弊社休業日を除く)

www.tektronix.com/ja

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。
Copyright © Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。Microsoft、Windowsは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2013年5月 48Z-28882-1