

## デジタイザのフロントエンド信号調整の適切な使用

### はじめに：

モジュラーデジタイザ (A/D ボード) および Figure 1 に示す Spectrum 製 M4i シリーズなどの測定機器は、さまざまな信号特性を内部アナログデジタルコンバータ (ADC) の固定入力範囲に一致させる必要があります。また、デジタイザ (A/D ボード) のフロントエンドは、テスト対象のデバイスの負荷を最小限に抑え、適切な結合を提供する必要があります。さらに、ブロードバンドノイズの影響を軽減するためにフィルタリングが必要になる場合があります。これらの機能はすべて、入力と ADC 間のすべての回路を含む機器の「フロントエンド」によって提供されます。デジタイザ (A/D ボード) のユーザは、これらの機器を効果的に使用するために必要なトレードオフを理解する必要があります。

Figure 2 に、この例で使用される Spectrum M4i シリーズモジュラーデジタイザ (A/D ボード) のブロック図を示します。各入力チャンネルには独自のフロントエンド (緑色の網掛け) があり、独立してセットアップできます。フロントエンドは、レンジ選択とバンド幅制限フィルタリングとともに、適切な入力結合と終端を提供します。



Figure 1 Spectrum M4i.44xx 高速デジタイザ。14 または 16 ビットの解像度を持つ 2ch および 4ch バージョン

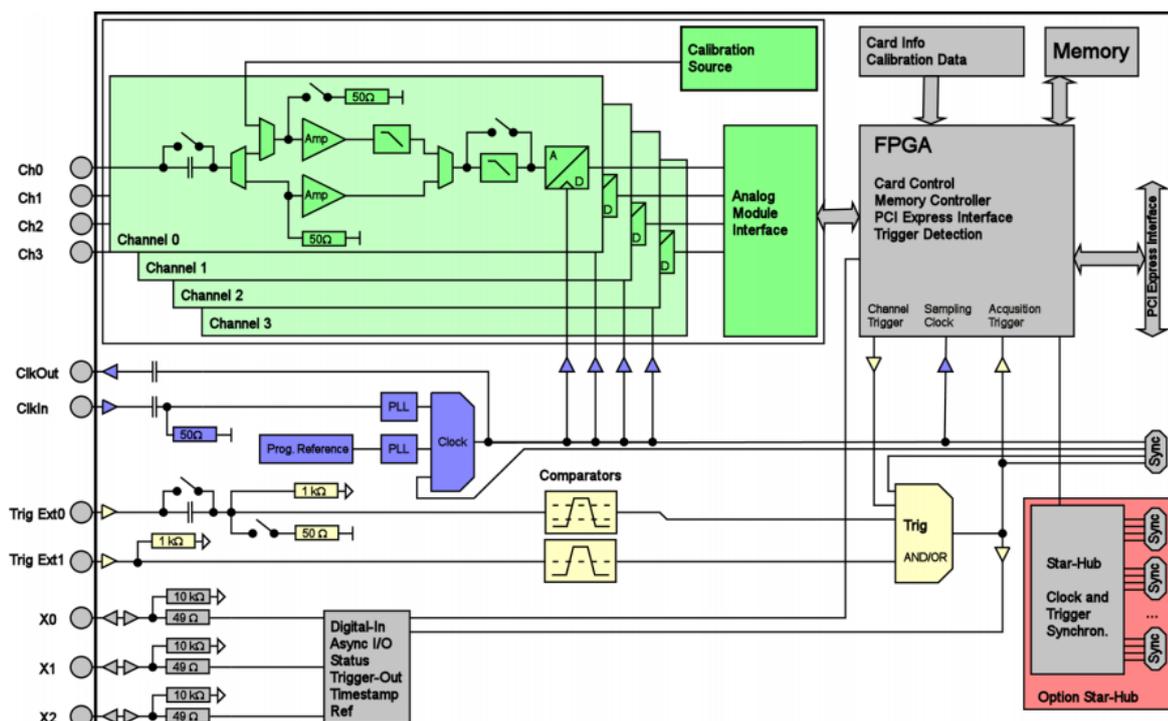


Figure 2 Spectrum M4i.44xx PCI Express 14/16 ビットモジュラーデジタイザのブロック図。各チャンネルのフロントエンドは緑色で表示されます。フロントエンドは、範囲選択と帯域幅制限フィルタリングとともに、適切な入力結合と終端を提供します。

## フロントエンド機能：

モジュラーデジタイザ (A/D ボード) の汎用性を最大化するには、フロントエンド回路に次の機能が必要です。

1. 整合インピーダンスを提供する入力終端の選択、または高インピーダンス入力での負荷の最小化。
2. 必要に応じて AC または DC 結合を提供する結合モードの選択。
3. ノイズを最小限に抑え、存在する場合は高調波成分を減らすためのフィルタリング。
4. 複数の入力範囲により、入力信号レベルの幅広い変動をキャプチャする能力を提供し、同時にノイズと歪みを最小限に抑えて信号の整合性を維持する。
5. 精度を最大化するための内部キャリブレーション。

## 入力終端：

測定器はソースを適切に終端する必要があります。ほとんどの無線周波数 (RF) 測定では、これは通常 50Ω 終端です。終端を一致させることは、反射による信号損失を最小限に抑えます。50Ω 終端の性能指数は、リターンロスまたは電圧定在波比 (VSWR) です。これらの性能指数のいずれかは、インピーダンス整合の品質を示しています。

ソースデバイスの出力インピーダンスが高い場合、回路負荷を最小限に抑える 1MΩ の高インピーダンス終端と適切に一致します。1MΩ の終端では、負荷インピーダンスをさらに増加させる高インピーダンスのオシロスコーププローブを使

用することもできます。オーディオ用の 600Ω など、他の標準終端とのインピーダンス整合は、外部の 600Ω 終端と組み合わせた 1MΩ 終端を使用することで実現できます。利便性とシグナルインテグリティの間で選択可能な入力インピーダンスを使用した設計には、技術的なトレードオフがあるため、一部のモジュラーデジタイザのサプライヤは 50Ω 終端のみを提供します。高インピーダンス終端または高インピーダンスと 50Ω の両方が必要な場合は、メーカーが提供していることを確認する必要があります。Spectrum 製 M4i シリーズは、最高レベルの信号品質を維持しながら、ユーザが入力終端を選択できるように設計されています。

## 入力カップリング：

測定器の入力カップリングにより、測定器をソースに AC または DC で結合できます。DC カップリングは、DC オフセット（ゼロ以外の平均信号）を含む信号全体を示します。AC カップリングは、定常状態の平均値（DC）を除去します。AC カップリングは、DC 電源の出力のリプル測定などの測定に役立ちます。AC カップリングがないと、DC 出力には大きな信号減衰が必要になり、リップルの正確な測定が難しくなります。AC カップリングでは、より高い入力感度を使用できるため、リップル成分の測定が向上します。AC カップリングの主要な仕様は、AC 結合周波数応答の低周波数カットオフ（-3 dB の低いポイント）です。これにより、AC カップリングによって低周波信号がどの程度減衰されるかが決まります。また、回復時間にも関連しています。回復時間とは、機器に適用される DC レベルが変化した後、入力レベルが安定するまでの時間です。一般に、カットオフ周波数が低いほど、結合コンデンサが大きくなり、安定時間が長くなります。

一部のモジュラーデジタイザ（A/D ボード）は、AC カップリングまたは DC カップリングのみを提供し選択できません。繰り返しますが、これは、固定カップリングのデジタイザ（A/D ボード）がリレーやスイッチなどのコンポーネントを扱う必要がないため、複雑さを軽減するためのエンジニアリング上のトレードオフです。また、アプリケーションは固定または選択可能なカップリングが許容されるかどうかを決定します。選択可能なカップリングは、測定のニーズが変化した場合により柔軟に対応できます。

## 入力電圧レンジ：

通常、デジタイザ ADC の入力レンジは固定されています。最も単純なインタフェースは、ADC に一致する固定入力レンジを持つ単一の入力を持つことです。シンプルではありますが、これは、単一の範囲が使用したい範囲でない限り、測定器ではあまり実用的ではありません。入力信号の振幅を ADC の範囲内に収めるには、減衰器または増幅器が必要です。減衰器は、一般に抵抗性の単純な分圧器であり、入力信号の振幅を低減します。高品質のコンポーネントを使用して設計した場合、通常、信号の完全性が大幅に低下することはありません。減衰器が信号経路にあるときに現れる問題の 1 つは、機器の内部ノイズ振幅がフロントエンド減衰に伴って（減衰器の入力に対して）スケールアップすることです。したがって、ノイズレベルが 58μV rms のデジタイザ（A/D ボード）があり、10 : 1 の減衰器を追加すると、入力を基準としたノイズレベルは 580μV のレベルとなります。ノイズレベルは、減衰されたフルスケール範囲の相対的な割合と同じです。

一方増幅器は別の話です。適切に設計されていても、一般に信号経路にノイズが混入します。これは、デジタイザ

(A/D ボード) の内部ノイズが入力を基準としたときに増幅器のゲインによって減少するという事実によってわずかに補償されます。また、アンプは歪み積を発生させる可能性があり、これにより信号の完全性がさらに低下します。アンプのもう 1 つの制限は、ゲイン帯域幅積が固定されていることです。ゲインを上げようとする、帯域幅は比例して低下する必要があります。これは、帯域幅が減少する高感度範囲で確認できます。

入力電圧レンジの選択は、信号品質に大きな影響を与える可能性があるため、モジュラーデジタイザ (A/D ボード) 設計の重要な領域です。同時に、利用可能な信号振幅をデジタイザ (A/D ボード) の入力範囲に一致させることで、ユーザに大きな柔軟性を提供します。

サプライヤは、このトレードオフを処理するためのさまざまなアプローチを提供します。入力範囲を固定するものから、複数の入力パスを提供するものまでさまざまです。複数の入力パスは、入力範囲と終端に関して最大限の汎用性を提供する「バッファ」パスと、より少ない入力範囲と固定 50Ω 終端で最高の帯域幅と最高の信号品質を提供する「50Ω」高周波 (HF) パスを組み合わせます。

Figure 3 のブロック図は、デュアル入力パスを含む Spectrum 製 M4i.44xx モジュラーデジタイザ (A/D ボード) のアーキテクチャを示しています。HF パスは、最高の信号品質で最大の帯域幅を提供するように最適化されています。バッファ付きパスは、入力電圧範囲の選択肢を増やすことにより、最大限の汎用性を提供します。ユーザは、測定要件に最適な入力パスを選択できます。

Table 1 に、14 ビット、500 MS/s バージョン (M4i.445x) の各パスの特性の比較を示します。Figure 4 は、デジタイザ (A/D ボード) の 500 mV レンジの 256 ステップのランプに対する HF パスとバッファパスの応答の比較を示しています。この図では、各パスの単一のステップを

見えています (重ならないように、各パスに隣接するステップが選択されていることに注意してください)。バッファードパスのピークツーピークノイズは、HF パスよりも高いことに注意してください。HF パスの設計は、ノイズを最小限に抑えるように最適化されており、バッファパスの 2 倍の帯域幅があるにもかかわらず、ノイズがはるかに小さくなっています。

この性能に対して支払われる価格は、利用可能な入力範囲の数の減少と、50Ω 終端を使用する必要性です。バッファリ

Figure 3 のブロック図は、デュアル入力パスを含む Spectrum 製 M4i.44xx モジュラーデジタイザ (A/D ボード) のアーキテクチャを示しています。HF パスは、最高の信号品質で最大の帯域幅を提供するように最適化されています。バッファ付きパスは、入力電圧範囲の選択肢を増やすことにより、最大限の汎用性を提供します。ユーザは、測定要件に最適な入力パスを選択できます。

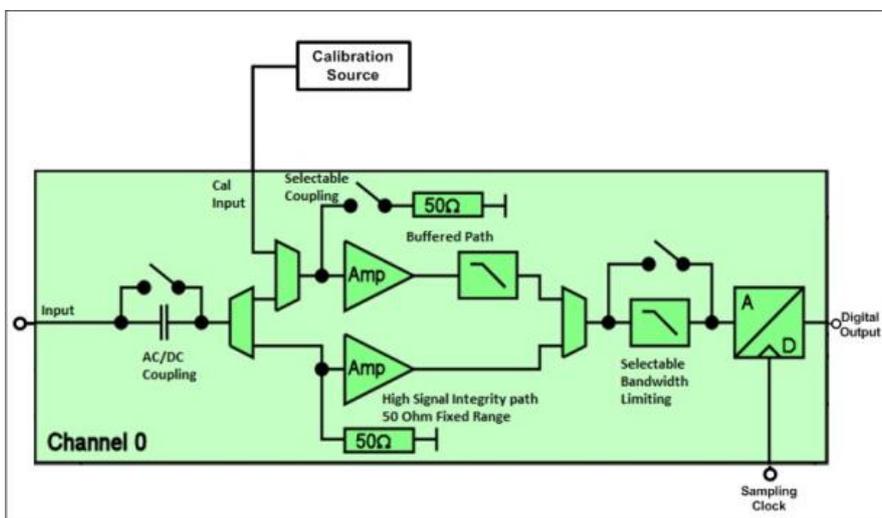


Figure 3 Spectrum M4i.44xx デジタイザのブロック図。デュアル入力パス、結合、終端インピーダンス、フィルタリング、内部キャリブレーションを含むフル機能のフロントエンドのすべての要素を示しています。

	High Frequency Path	Buffered Path
Analog Input Impedance	50 Ω	1 MΩ    25 pF or 50 Ω
Input Voltage Ranges	±500 mV, ±1 V, ±2.5 V, ±5 V	±200 mV, ±500 mV, ±1 V, ±2 V, ±5 V, ±10 V
Input Coupling	AC/DC	AC/DC
Maximum Bandwidth	250 MHz	125 MHz
RMS noise level (no signal) at ±500 mV	< 58 μV	< 70 μV

Table 1 14 ビット、500 MS / s モジュラーデジタイザでの HF およびバッファパス特性の比較

ングされたパスに相当するもののみを提供するモジュラーデジタイザ (A/D ボード) を選択すると、ノイズレベルが「スタック」することに注意してください。これらの波形のヒストグラムを見ると、Figure 5 に示すように、HF パスの平均についての広がり、バッファパスのそれよりも小さいことがわかります。これは、HF パスの変動またはノイズが少ないことを意味します。

この現象の尺度は標準偏差です。この例では、HF パスの標準偏差は 0.125 mV ですが、バッファパスの標準偏差は 0.183 mV です。

これにより、同じ入力信号の 2 つの信号パス間のノイズレベルの差を量子化できます。両方の応答には、信号源およびデジタイザ (A/D ボード) からのノイズ成分も含まれていることに注意してください。HF のより高い信号品質の利点は、両方の入力信号パスを使用してデジタイザによって取得された正弦波の周波数スペクトルにも見られます。これを Figure 6 に示します。

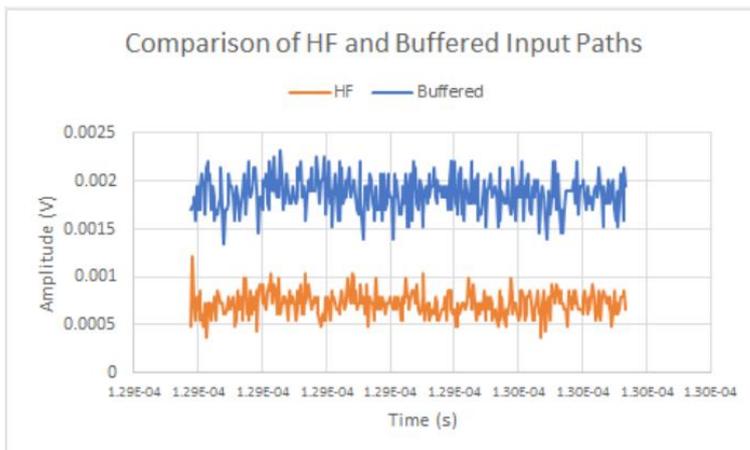


Figure 5 HF と Buffered の応答の違い。バッファードパスの帯域幅は HF パスの半分であるにもかかわらず、バッファードパスのピークツーピークノイズレベルが高いことに注意してください。

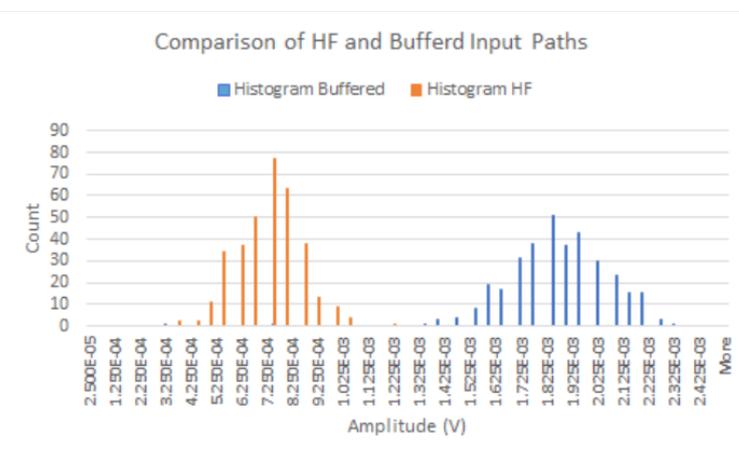


Figure 4 HF およびバッファされた信号パスの両方のデータ値のヒストグラムは、HF レベルの分布が狭く、ノイズレベルが低いことを示しています。

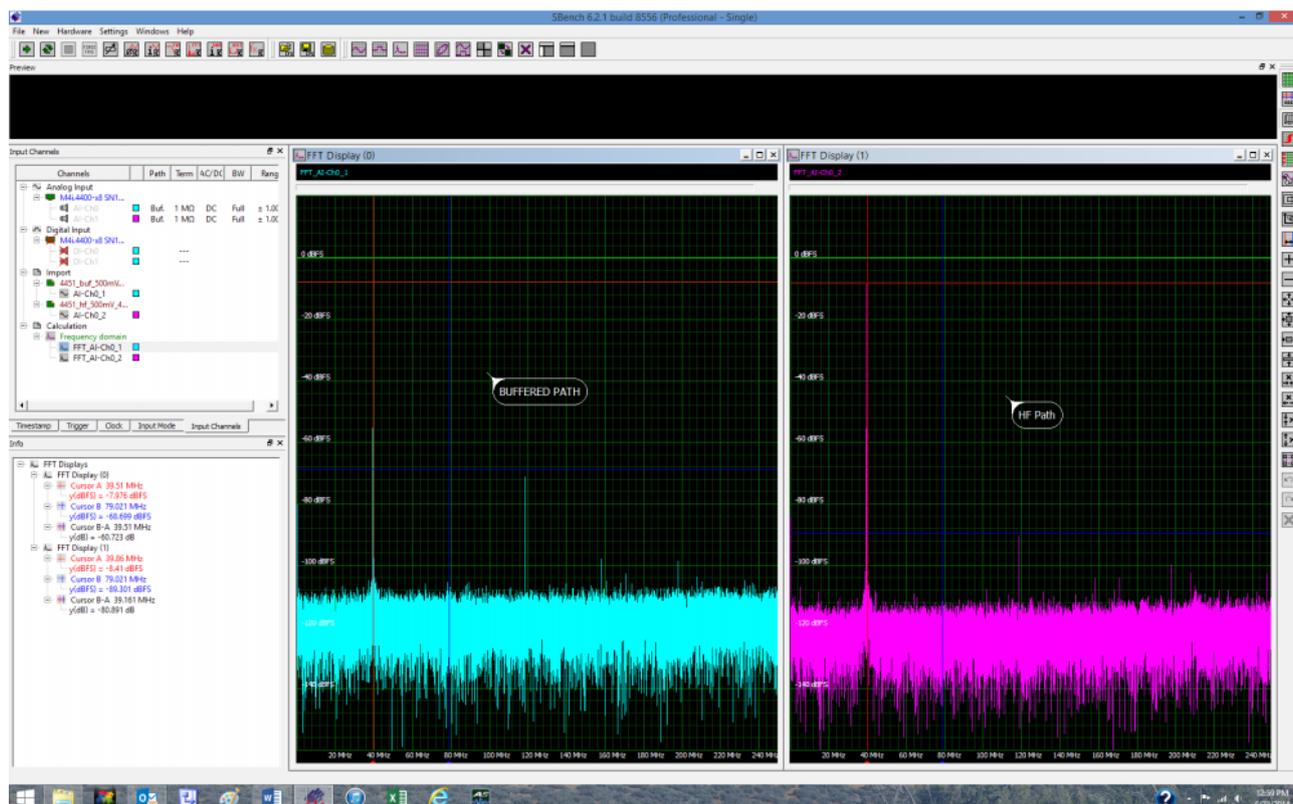


Figure 6 バッファード（左側）パスと HF（右側）パスの周波数スペクトルの比較。HF パスには、バッファパスの 60.7 dB と比較して 80.9 dB のスプリアスフリーダイナミックレンジがあることに注意してください。

ここでは、各入力パスを介して取得した信号の高速フーリエ変換（FFT）を示しています。カーソルは、スペクトルのピークとスプリアスのピークをマークします。HF パスのスプリアスフリーダイナミックレンジは 80.9 dB で、バッファ付きパスは 60.7 dB です。また、HF 信号経路の場合、ノイズのベースラインが低いことに注意してください。

### 信号品質の改善に関するいくつかの所見：

どの信号経路を選択したとしても、最高の信号品質を得るための一般的なルールがいくつかあります。1つ目は、可能な限り最大の入力範囲を使用することです。信号の振幅が安定している場合、その範囲の少なくとも 90% を使用する入力範囲を選択します。ADC をオーバードライブしないでください。フルスケール範囲を超えると、歪みやクリッピングが発生し不要な高調波が生成され、信号の完全性が低下します。デジタイザで帯域幅制限フィルタを使用できる場合、ノイズを減らすのに役立ちます。この記事で使用するデジタイザには、フロントエンドにアナログ 20 MHz ローパスフィルタがあり、デジタイザの帯域幅を制限するために切り替えることができます。入力信号に 20 MHz を超える信号がない場合、フィルタを使用すると、20 MHz を超えるノイズを減らすことにより、集録の信号対ノイズ比が改善されます。

### 内蔵キャリブレーション：

Spectrum 製のすべてのモジュラーデジタイザは、出荷前に工場では校正されています。モジュラーデジタイザは、PC の電源電圧や温度などの変動がある PC 環境に組み込まれるため、このデジタイザのソフトウェアドライバーは、すべての入力範囲の自動オンボードオフセットおよびゲイン（バッファ信号パスのみ）キャリブレーションのルーチンを提供します。バッファされた信号経路の各デジタイザカードには、高精度の内蔵キャリブレーションリファレンスが含まれています。

これは、環境の変化や経年変化にもかかわらずデジタイザのキャリブレーションを維持するのに役立つ優れた機能です。デジタイザが動作し、安定した動作温度に達するのに十分な時間が経過してからキャリブレーションを実行することをお勧めします。通常、これは 10～15 分かかります。

### まとめ：

モジュラーデジタイザのフロントエンドは、正確で再現性のある測定を保証するために必要なすべての機能を提供する必要があります。複数の入力範囲、AC / DC カップリング、フィルタリング、および内蔵キャリブレーションはすべて、信号の完全性と精度を最大限に高めるのに役立ちます。適切に設計されたフロントエンドにより、ユーザは入力信号を適切に調整し、オーバードライブせずに可能な限り多くの ADC 範囲をカバーすることができます。そうすることで、デジタイザは最高の測定精度と品質を達成できます。



### Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。最も一般的な業界標準（PCIe、LXI、PXIe）で 500 を超えるデジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト & メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、[www.spectrum-instrumentation.com](http://www.spectrum-instrumentation.com) を参照してください。