

5 MSPS、18 ビット/16 ビット高精度 SAR コンバータのオーバーサンプリングで ダイナミック・レンジを拡大する方法

著者 : Maithil Pachchigar

はじめに

分光分析、磁気共鳴映像法 (MRI)、ガス・クロマトグラフィー、振動、ガス/オイル、地震探査などのシステムに使用する高性能データ収集シグナル・チェーンには、最先端技術に基づく広いダイナミックレンジ (DR) が必要であるだけでなく、難しい熱設計やサイズ、コスト面で大きな課題があります。高いダイナミック・レンジを実現する方法の1つは、センサーからの大小両方の入力信号を正確にモニターして測定するために、コンバータのオーバーサンプリングを行うことです。A/D コンバータ (ADC) のダイナミック・レンジを拡大する方法は、ほかにもいくつかあります。たとえば、プログラマブル・ゲイン・アンプを使用する方法や、複数の ADC を並列に使用し、その出力のデジタル・ポストプロセッシングにより平均値を得る方法です。しかし、設計者によっては、主に電力、サイズ、コスト上の制約から、こうした方法をシステムに適用するのが困難であったり、非現実的と思われるかもしれません。このアプリケーション・ノートでは、高スループット、5 MSPS の 18 ビット/16 ビット高精度逐次比較レジスタ (SAR) コンバータのオーバーサンプリングによって ADC 出力サンプルの簡単な平均化を実装してダイナミック・レンジを拡大する方法について解説します。

オーバーサンプリングについて

オーバーサンプリングは、ナイキスト周波数よりはるかに高いレートで入力信号をサンプリングする簡単でコスト効果の高いサンプリング・プロセスであり、S/N 比 (信号対ノイズ比) と有効ビット数 (ENOB) が向上します。これは、アンチエイリアス・フィルタに関する要求を緩和することにもなります。一般的な目安として、ADC を 4 倍の率でオーバーサンプリングすると分解能が 1 ビット増加します。これは、6 dB のダイナミック・レンジ (DR) 拡大に相当します。全体的なノイズは、オーバーサンプリング比 (OSR) を増加させることによって減少します。このオーバーサンプリングによる DR の拡大幅は、dB 単位で $\Delta DR = 10 \times \log_{10} (\text{OSR})$ です。

高スループット SAR ADC でオーバーサンプリングを行うと、全体的なノイズを減少させ、アンチエイリアシングを改善することができます。多くの場合オーバーサンプリングは、内蔵デジタル・フィルタとデシメーション機能を備えたシグマ・デルタ ($\Sigma\Delta$) ADC でもともと使われており、うまく実装されています。しかし、 $\Sigma\Delta$ ADC は、入力チャンネル間的高速スイッチング (マルチプレクシング) には適していません。図 1 に示すように、 $\Sigma\Delta$ ADC の基本オーバーサンプリング・モジュレータは量子化ノイズを形成しますが、そのほとんどは対象帯域外で発生し、増加したダイナミック・レンジ全体が低い周波数帯に位置する結果となります。この場合、デジタル・ローパス・フィルタ (LPF) が対象帯域外

のノイズを除去し、デシメータが出力データレートを下げてナイキスト・レートに戻します。

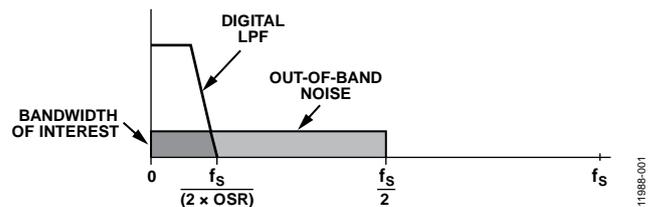


図 1. ナイキスト・コンバータのオーバーサンプリング

5 MSPS、18 ビット/16 ビット高精度コンバータ

AD7960/AD7961 は、18 ビット/16 ビットの 5 MSPS PulSAR® 差動ピン対応 ADC です。アナログ・デバイセズ独自の容量 DAC (CAPDAC) 技術を使用し、遅延 (パイプライン遅延) なしで前例のないノイズ性能と線形性を実現しています。AD7960 と AD7961 は低ノイズと高スループットの組み合わせによって低ノイズ・フロアを実現しており、オーバーサンプリング・アプリケーションに適しています。

AD7960/AD7961 シリーズは 1.8 V ~ 5 V の電源で動作し、セルフクロック・モードで変換時の消費電力は 5 MSPS でわずか 39 mW、エコクロック・モードでの変換でも 5 MSPS で 46.5 mW にすぎません。消費電力はスループットとともに変化し、図 2 に示すように柔軟で電力効率の高いソリューションを実現することができるため、低電力の携帯型アプリケーションに最適です。

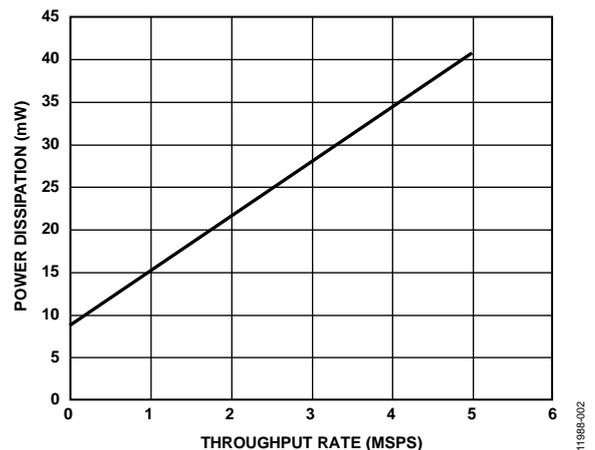


図 2. AD7960 スループット・レート 対 消費電力

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

AD7960/AD7961 評価セットアップ

EVAL-AD7960FMCZ と EVAL-SDP-H1 を使用した評価セットアップの簡略回路図を、図 3 に示します。

AD7960/AD7961 シリーズは、逆相アナログ入力 (IN+ と IN-) の差動電圧をデジタル出力コードに変換します。アナログ入力は、リファレンス電圧の 1/2 に等しい同相電圧を必要とします。低ノイズで超低歪みの ADA4899-1 をユニティ・ゲイン・バッファ構成とし、0 V ~ 5 V の差動逆相電圧 (互いに 180° の位相差) によって AD7960/AD7961 の入力を駆動します。ADA4899-1 アンプの入力に +7 V と -2.5 V の電源を使用することで、この回路で最大のシステム性能が得られます。低ノイズ低消費電力の AD8031 アンプは、低ノイズ低ドリフトの ADR4550 が出力する 5 V リファレンス電圧をバッファします。AD8031 は、AD7960/AD7961 の出力同相電圧 (VCM) もバッファします。

測定結果

オーバーサンプリング機能は、ADC 出力サンプルを平均化することによって AD7960/AD7961 評価ソフトウェア内に実装されています。つまり、ADC サンプル数を合計し、それをオーバーサンプリング比で除してダイナミック・レンジを拡大します。このソフトウェアを使用すれば、図 4 に示すように、Configure (設定) タブのドロップダウン・メニューから最大 256 までの **Oversampling Ratio** (オーバーサンプリング比) を選択できます。システムの低周波 1/f ノイズは 20 kSPS 未満の比較的低い出力データレートで大きくなり、これによって実現可能なダイナミック・レンジが制限されます。

図 5 と図 7 に示す DC から $f_s/2$ までの信号とフラット・ノイズのスペクトルは、ダイナミック・レンジと S/N 比を改善するために $f_s/(2 \times \text{OSR})$ までノイズを除去できることを示しています。この場合、オーバーサンプリングされたダイナミック・レンジは、DC から $f_s/(2 \times \text{OSR})$ までの ADC 出力 FFT で測定されたピーク信号パワー対ノイズ・パワーの比です。ここで、 f_s は ADC スループットです。

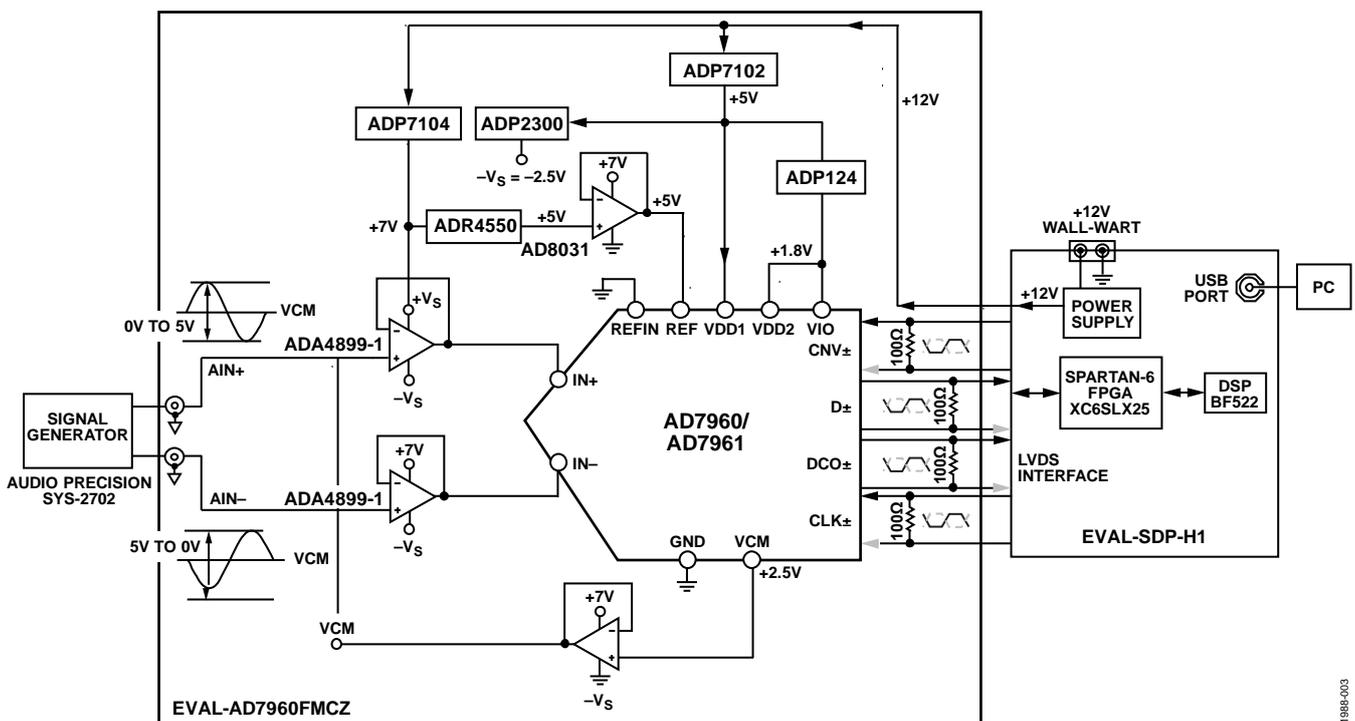


図 3. AD7960/AD7961 評価セットアップの簡略回路図

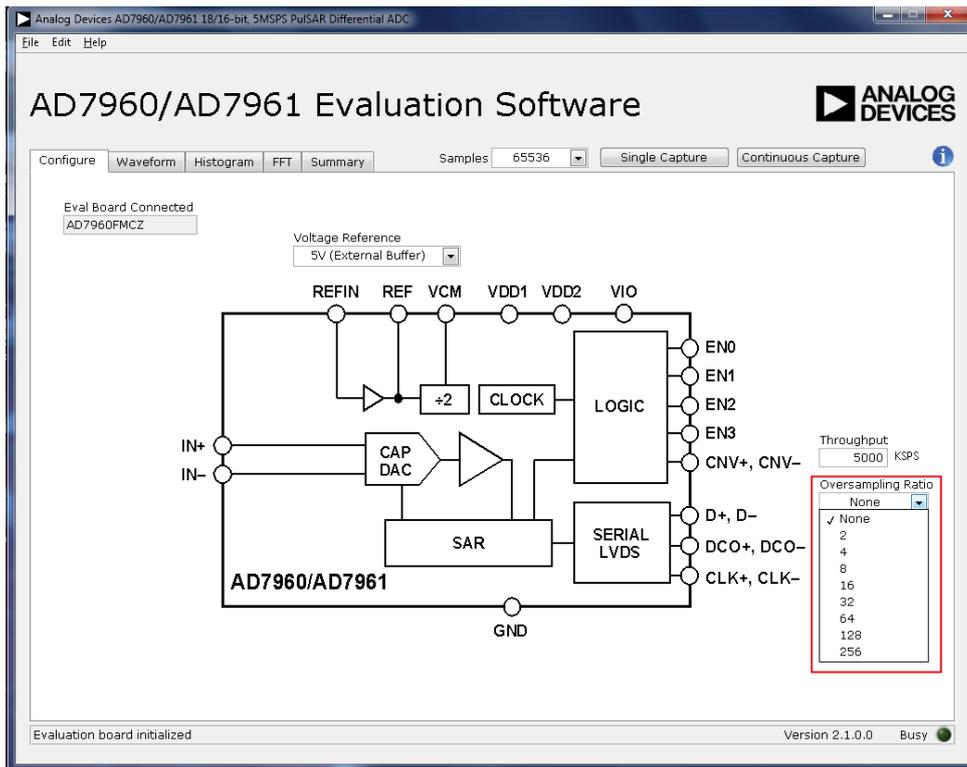


図 4. AD7960/AD7961 評価ソフトウェア・パネル

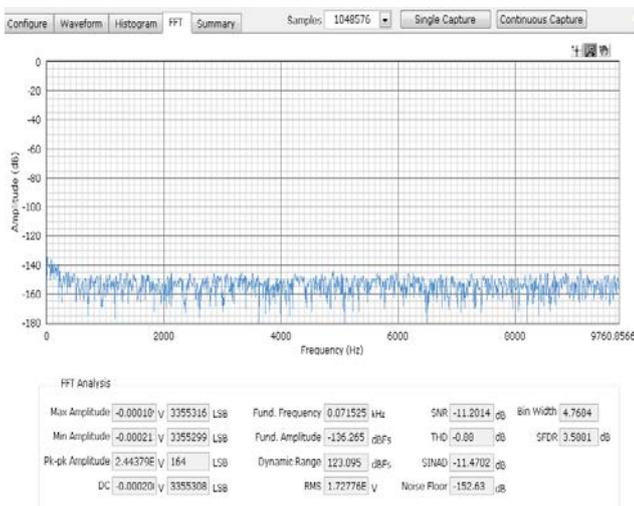


図 5. AD7960 オーバーサンプリング FFT 出力、入力信号なし (OSR = 256、REF = 5 V)

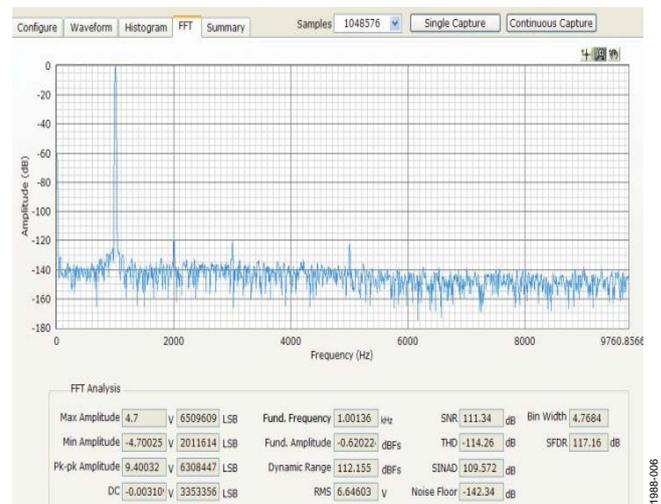


図 6. AD7960 オーバーサンプリング FFT 出力、 $f_{IN} = 1$ kHz (OSR = 256、REF = 5 V)

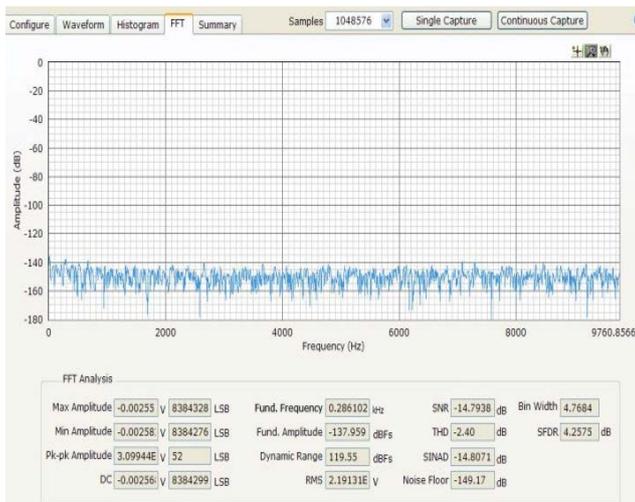


図 7. AD7961 オーバーサンプリング FFT 出力、入力信号なし (OSR = 256、REF = 5 V)

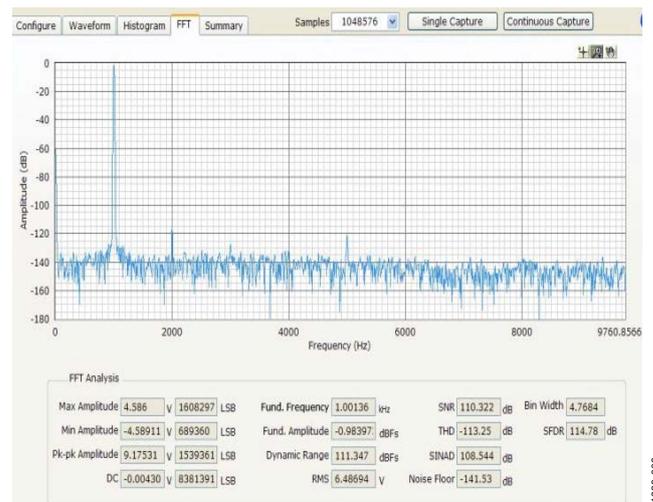


図 8. AD7961 オーバーサンプリング FFT 出力、 $f_{IN} = 1 \text{ kHz}$ (OSR = 256、REF = 5 V)

AD7960とAD7961のデータシートには、それぞれ100 dBと96 dBの標準的ダイナミック・レンジが記載されています。使用リファレンス電圧は5 Vです。したがって、理論上は、256 倍のオーバーサンプリングでダイナミック・レンジは 24 dB 拡大します。実際には、オーバーサンプル比 256、出力データレート 19.53 kSPS でこれらのデバイスをオーバーサンプリングしたときのダイナミック・レンジは、入力信号なしでそれぞれ 123 dB と 120 dB です (図 5 と図 7 を参照)。測定オーバーサンプリング・ダイナミック・レンジは、理論計算値よりも 1 dB~2 dB 低下します。シグナル・チェーン部品、入力源、プリント回路基板 (PCB) から発生する低周波ノイズによって、全体的なダイナミック・レンジ性能が制限されます。1 kHz のフルスケール正弦波入力信号では、これらのデバイスは、それぞれおよそ 112 dB と 111 dB のオーバーサンプリングSNRを実現します (図5と図7を参照)。AD7960では、オーバーサンプリング比の増大と出力データレートの減少に伴ってダイナミック・レンジが拡大します (図 9 参照)。

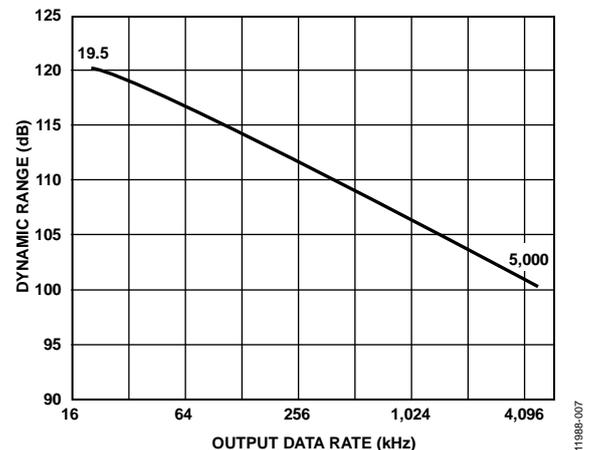


図 9. AD7960 出力データレート対ダイナミック・レンジ

比類のないS/N比、低消費電力、卓越した精度を兼ね備えたAD7960とAD7961は、オーバーサンプリングの手法を使用して幅広いダイナミック・レンジで信号を測定するアプリケーションに最適のデバイスです。

改訂履歴

2/14—Rev. 0 to Rev. A

Changes to Figure 3.....2

Changes to Figure 5 and Figure 6.....3

Added Figure 7 and Figure 8; Renumbered Sequentially4

1/14—Revision 0: Initial Version