



AN-1416 アプリケーション・ノート

高ダイナミック・レンジのアプリケーションにおける AD7616 の設定例 著者: Aidan Frost

はじめに

AD7616 は、デュアル、同時サンプリング、16 チャンネルを特長とする、16 ビット逐次比較レジスタ (SAR) A/D コンバータ (ADC) です。AD7616 は、エネルギー供給市場における保護および計測アプリケーションに最適です。AD7616 は、低ドリフトのプログラマブル・ゲイン・アンプ (PGA)、1 M Ω 入力インピーダンス、柔軟性の高いプログラマブル・シーケンサ、

最大 128 倍のオーバーサンプリングを実行する機能など、保護および計測アプリケーション向けに設計された多数の機能を備えています。このアプリケーション・ノートでは、AD7616 を数ある動作モードの 1 つに設定し、100 dB を超えるダイナミック・レンジを実現する方法について詳しく説明しています。このアプリケーション・ノートは、AD7616 をアプリケーションに組み込むためのクイック・スタート・リファレンスとして使用されることを意図しています。

目次

はじめに.....	1	AD7616 の設定	6
改訂履歴.....	2	変換.....	8
ダイナミック・レンジの条件	3	変換結果の読出し	8
ハードウェア・ピンの配置	5	まとめ.....	9

改訂履歴

6/2017—Revision 0: Initial Version

ダイナミック・レンジの条件

アプリケーションによっては、入力信号の振幅が大幅に変化することがあります。例えば、リレー保護のアプリケーションでは、一般に不具合が起きている状態のときと比較して小さな信号を扱いますが、公称状態と不具合が起きている状態の両方を計測することが必要な場合があります。こうした計測では、このような小さな入力信号を必要な精度に分解するためには、ダイナミック・レンジの大きな ADC が必要になります。このようなアプリケーションに必要なダイナミック・レンジは、次のように計算できます。

$$DR = 20 \times \log_{10} \frac{Signal_{MAX}}{Signal_{MIN}}$$

ここで

DR はダイナミック・レンジ。

Signal_{MAX} は ADC が分解可能な最大の信号。

Signal_{MIN} は ADC が分解可能な最小の信号。

アプリケーションの精度条件によっては、16 ビット以上の精度が必要とされることがあります。この条件は、AD7616 では次の方法で達成できます。

1. アナログ入力をオーバーサンプリングして、最大 96 dB の S/N 比 (SNR) を実現する。
2. 信号のデュアル・ゲイン・サンプリングにより、実効ダイナミック・レンジを拡大する。

AD7616 の ±10 V の入力レンジを利用して、オーバーサンプリングなしで通常 90.5 dB の SNR を実現することができます。この SNR は、64 倍のオーバーサンプリング比 (OSR) では最大 96 dB まで増加します。同様に ±2.5 V のレンジでは、オーバーサンプリングなしで 87 dB の SNR、OSR が 64 倍のときに 93.9 dB の SNR が得られます。

表 1. オーバーサンプリングによる SNR の向上

OSR	±2.5 V Range (dB)	±10 V Range (dB)
0	87	90.5
64	94	96

通常は入力レンジに対してかなり小さいが、(例えば、起動時や故障時には) オーバーレンジになることがあるようなセンサーからの入力信号が考慮対象です (図 1 参照)。

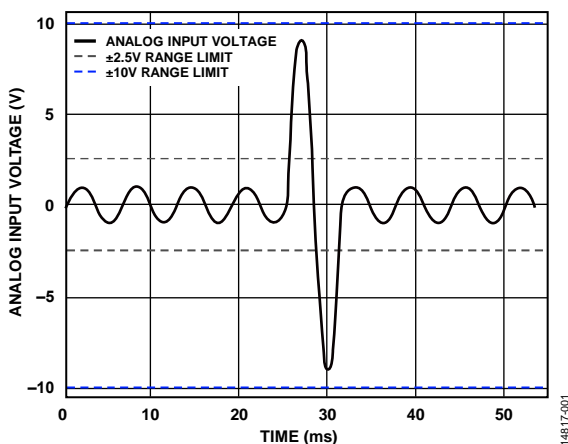


図 1. レンジを超える信号

2つの AD7616 チャンネルを組み合わせると同じ入力信号をサンプリングすることにより、ダイナミック・レンジを広げることができます。AD7616 には 1 チャンネルあたり 1 個の PGA があり、±2.5 V、±5 V、または ±10 V の信号を入力するように構成できます。ダイナミック・レンジを拡大するには、異なるゲインで同じ信号をサンプリングすることが重要です。

AD7616 の ADC ごとに 1 つのチャンネルを使用する代表的なデュアル・サンプリングの構成を図 2 に示します。AD7616 は、2 個の ADC コアと 2 個の 8:1 マルチプレクサで構成され、合計 16 チャンネルとなっています。この例では、マルチプレクサあたり 1 つのチャンネルを使用することにより、両方のチャンネルを同時にサンプリングすることができます (図 2 参照)。

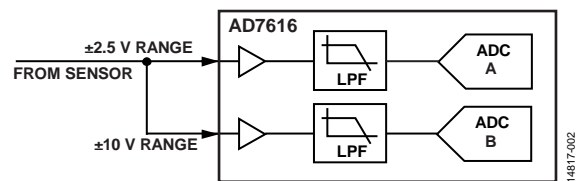


図 2. デュアル・ゲイン・サンプリング構成

図 2 に示す接続は、3 相電力システムの 1 つの相をモニタする代表例であり、必要に応じて他の相をモニタするように拡張することができます。このアプリケーション・ノートで説明している構成では、ADC チャンネルが表 2 のように割り当てられていると仮定しています。ここでは、3 つの相をモニタしています。

表 1 は、±2.5 V のレンジで、OSR を 64 倍としたオーバーサンプリングによって SNR を 94 dB まで増加可能であることを示しています。同じレンジで OSR を下げて 4 倍でオーバーサンプリングすると、分解可能な最小信号は約 ±88 μV となります。これは、4 倍の OSR で ±2.5 V レンジの SNR が 89 dB であることがわかっているので、次のようにして計算できます。

$$SNR = 20 \times \log_{10} (\text{最大信号} / \text{最小信号}) = 89 \text{ dB}$$

ここで

SNR は S/N 比。

最大信号は、アナログ入力に印加される信号の最大振幅。

最小信号は、分解可能なノイズフロアからの最小の信号振幅。

最大信号は入力レンジで、この場合は ±2.5 V です。この入力レンジの値を用い、式を書き直して解くことによって、ADC が分解可能な最小の信号を求めることができます。その結果 ±88 μV が得られます。

±10 V と ±2.5 V の両方の入力レンジを用いてサンプリングすることにより、次に示す最大ダイナミック・レンジを実現することができます。

$$DR = 20 \times \log_{10} \frac{\pm 10 \text{ V}}{\pm 88 \mu\text{V}} \cong 101 \text{ dB}$$

ここで、*DR* はダイナミック・レンジです。

表 2. ADC チャンネルの設定

Phase	Channel	Range for ADC A (V)	Range for ADC B (V)
A	V0A/V0B	±2.5	±10
B	V1A/V1B	±2.5	±10
C	V2A/V2B	±2.5	±10

ハードウェア・ピンの設定

AD7616 はハードウェア・モードまたはソフトウェア・モードで動作するように設定することができます。ハードウェア・モードでは、ピン制御を用いてシーケンサ、アナログ入力レンジ、オーバーサンプリング比などのオプションを設定します。ソフトウェア・モードでは、パラレル・インターフェースまたはシリアル・インターフェースを介してオンボード・レジスタを設定し、デバイスの機能セットの多くをロック解除します。この設定例ではソフトウェア・モードを使用し、パラレル・インターフェースを介して設定します。シリアル・インターフェースを用いたデバイス設定は、パラレル・インターフェースを用いたデバイス設定に類似しています。詳細については、AD7616 のデータシートを参照してください。

オンボード・レジスタの設定に先立ち、この例では電源投入前に、表 3 および図 3 に示すように制御ピンを構成します。ハードウェア制御ピンの値は、リセット解除時またはフル・リセット後にデバイスによってラッチされます。この構成を変更した場合もフル・リセットが必要です。

表 3. ハードウェア・ピンの設定

Pin Name	Setting	Description
HW_RNGSELx	GND	デバイスをソフトウェア・モードで設定します。
SER/ $\overline{\text{PAR}}$	GND	グラウンドに接続すると、パラレル・インターフェースが選択されます。
SEQEN	GND	機能なし。グラウンドに接続します。
CHSELx	GND	機能なし。グラウンドに接続します。
REFSEL	GND/V _{CC}	必要に応じて内部リファレンス／外部リファレンスを選択します。

制御ピンを構成したら、V_{CC} ピンと V_{DRIVE} ピンに適切な電圧を供給することで AD7616 の電源がオンになります。電源が安定した後でデバイスをフル・リセットする必要があります。詳細については、AD7616 のデータシートを参照してください。

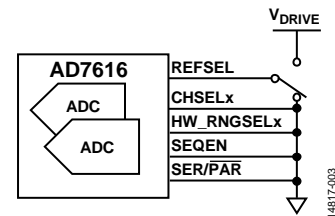


図 3. ハードウェア制御ピンの接続

AD7616 の設定

AD7616 は、ソフトウェア・モードでオンボード・レジスタを介した高度な設定が可能です。これらのレジスタは、パラレル・インターフェースまたはシリアル・インターフェースを介してアクセス可能で、16 ビット幅となっています。このアプリケーション・ノートに示す例ではパラレル・インターフェースを使用しています。必要なレジスタ書込みを示すフローチャートを図 4 に示します。以下に示すレジスタ書込みコマンドは、プログラマブル・シーケンサを用いて、AD7616 を 3 種類の信号をデュアル・サンプルする構成に設定します。

まず、設定レジスタに書き込みます。設定レジスタはソフトウェア・モードで使用し、シーケンサ、バースト・モード、オーバーサンプリング、CRC などの動作を含む、ADC の主な機能の多くを設定します。

コマンド 0x8460 を設定レジスタに書き込み、シーケンサをバースト・モードでイネーブルします。バースト・モードでは、シーケンサ・スタック・レジスタに設定されたすべてのチャンネル・ペアの変換を開始するために、単一の CONVST パルスが必要になります。変換結果は、結果を読み出す準備ができるまで保存されます。詳細については、AD7616 のデータシートを参照してください。

次に入力レンジ・レジスタを設定します。6 つのチャンネルをサンプリング用にイネーブルします (表 2 参照)。3 つのチャンネルを ± 2.5 V レンジに、3 つのチャンネルを ± 10 V レンジにそれぞれ設定します。4 つの入力レンジ・レジスタがありますが、この例ではレジスタ A1 とレジスタ B1 の 2 つしか必要ありません。コマンド 0x8815 を書き込んで、V0A ~ V2A チャンネ

ルの入力レンジを ± 2.5 V レンジに設定します。コマンド 0x8C3F を書き込んで、V0B ~ V2B チャンネルの入力レンジを ± 10 V レンジに設定します。

最後に、シーケンサのスタック・レジスタに書き込みます。シーケンサ・レジスタの構造は 32 層のスタックとなっており、各層に 2 つのチャンネル (ADC A の任意のチャンネルと ADC B の任意のチャンネル) を含めることができます。シーケンサは表 4 に示すように設定します。

表 4. シーケンサの設定

Layer	ADC A Channel	ADC B Channel	Code
1	V0A	V0B	0xC000
2	V1A	V1B	0xC211
3	V2A	V2B	0xC522

スタックで使用される最後のレイヤ (この例ではレイヤ 3) では、SSREN ビットをロジック 1 に設定します。これは、スタックの最後のレイヤであることを定義します。SSREN ビットが 1 に設定されたレイヤにシーケンサが達すると、シーケンサはスタック・ポインタをスタックの最初のレイヤにリセットします。これにより、このシーケンスを繰り返すことができます。

これで AD7616 は、図 2 に示すように 3 本の信号をサンプリングするように設定されました。コマンド 0x0000 をデバイスに書き込んで読出しモードに戻し、サンプリングを開始させます。この例で設定したレジスタの一覧を表 5 に示します。

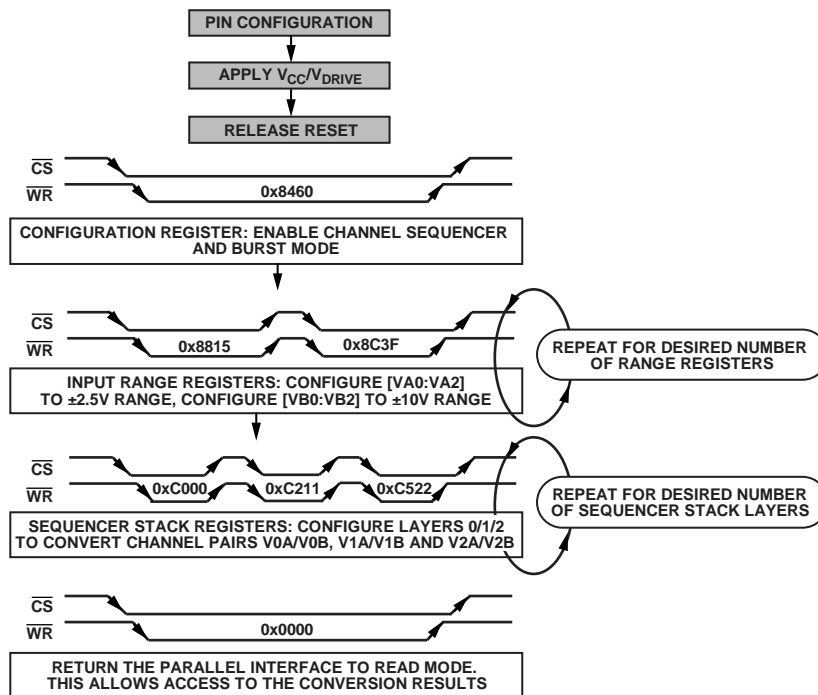


図 4. レジスタ設定フローチャート

表 5. レジスタの一覧

Register	Command	Description
Configuration	0x8460	シーケンサとバースト・モードをイネーブルします。
Input Range A1	0x8815	チャンネル V0A ~ V2A を ±2.5 V レンジに設定します。
Input Range B1	0x8C3F	チャンネル V0B ~ V2B を ±10 V レンジに設定します。
Sequencer Stack 1	0xC000	V0A と V0B をシーケンサ・スタックの最初のチャンネル・ペアとして定義します。
Sequencer Stack 2	0xC211	V1A と V1B をシーケンサ・スタックの第 2 のチャンネル・ペアとして定義します。
Sequencer Stack 3	0xC522	V2A と V2B をシーケンサ・スタックの最後のチャンネル・ペアとして定義します。SSREN ビットを 1 にセットします。
Conversion Results	0x0000	変換結果にアクセスするためにデバイスを読出しモードに戻します。

変換

バースト・モードでは、1つの CONVST 信号によって、シーケンサ・スタック・レジスタに設定されているすべてのチャンネルの変換が開始されます。デバイスは、シーケンスを完了するのに必要な残りの CONVST 信号を内部で生成します。このモードでのデバイスの動作を図5に示します。リセットが解除されると、図4に示すようにオンチップ・レジスタが設定されます。デバイスが変換の読出しモードに戻った後は、新しい設定をデバイスにラッチするためのダミー変換が必要です。その後、1つの CONVST パルスを与えてシーケンス全体の変換を開始させる必要があります。シーケンスが終了すると (BUSY のハイからローへの遷移によって示される)、3つのチャンネル・ペアの変換結果を読み出すことができます (図5参照)。

変換結果の読出し

バースト・モードでは、シーケンスにおけるすべてのチャンネルを変換完了後に、変換の読出しが行われます (図5参照)。変換と変換結果の読出しが完了するサイクル時間 (tcycle) は、

チャンネル・ペアの数 N とオーバーサンプリング比 x を用いて次のように推定できます。

$$t_{CYCLE} = (N \times x) (t_{ACQ} + t_{CONV}) - t_{ACQ} + 25 \text{ ns} + t_{CS_SETUP} + N (t_{RB}) + t_{QUIET}$$

ここで

t_{ACQ} は代表的な取得時間。

t_{CONV} は代表的な変換時間。

t_{CS_SETUP} は BUSY の立下がりエッジから \overline{CS} の立下がりエッジまでのセットアップ時間。

t_{RB} はパラレル・インターフェースを用いて変換結果を読み出すのに要する時間。

t_{QUIET} は最後の \overline{CS} の立上がりエッジから CONVST の立上がりエッジまでに要する時間。

変換結果の読出しにパラレル・インターフェースを使用することにより、バースト・シーケンサをイネーブルしても最大スループットを維持することができます。AD7616 データシートの適切な数値を t_{CYCLE} の式に代入すると、OSR が 4 倍のとき 3 つのチャンネル・ペアの変換にかかるサイクル時間は $11.945 \mu\text{s}$ となります。この代入により、1チャンネルあたりのスループットは 83 kSPS になります。

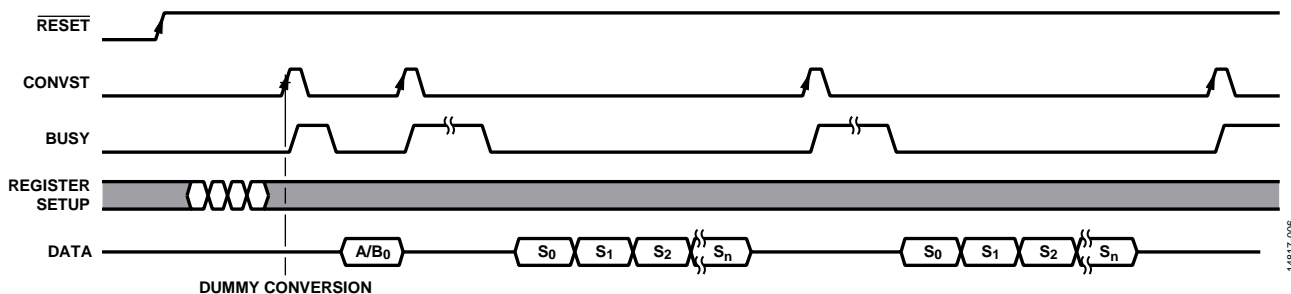


図 5. バースト・モードの動作

まとめ

小さな $\pm 2.5\text{ V}$ の入力レンジ設定で ADC A の出力をモニタすることにより、入力の過電圧と過電流の状態を検出することができます。この方法では、 $\pm 2.5\text{ V}$ レンジ設定のフルスケール振幅レンジを用いることで、ダイナミック・レンジを維持することができます。次に、 $\pm 10\text{ V}$ の広い入力レンジをモニタするように切り替えて、不具合が起きている状態の性質と大きさを取得することができます。この方法により、ADC の前段で入力レンジをダイナミックにスケールリングする必要がなくなり、AD7616 の高いチャンネル密度によりコスト効率の高いデュアル・サン

プリングが可能になります。このアプリケーション・ノートでは、OSR を 4 倍としたデュアル・サンプリング構成とすることで、AD7616 のダイナミック・レンジを 101 dB まで拡大できることを示しています。オーバーサンプリングを有効にして 3 つのチャンネルをサンプリングすると、チャンネルあたり 83 kSPS を超えるスループットを維持することができます。実際、このアプリケーション・ノートに記載されている方法を用いて、60 Hz の入力信号に対して 1 ライン・サイクルあたり 1300 以上のサンプルを収集することが可能です。