

チョッパ・アンプを備えた ADC コンバータのオフセット誤差と 入力インピーダンスの計算方法

著者: Miguel Usach

はじめに

A/D コンバータ (ADC) 内蔵のバッファとアンプには、通常チョッピング方式が採用されます。このチョッピングの実装例が [AD7124-8](#) と [AD7779](#) のデータシートに記載されています。CMOS トランジスタは、バイポーラ・プロセスなどの他のプロセスに比べてノイズが多く、マッチングが困難なので、アンプのオフセットとフリッカ・ノイズ ($1/f$) を最小限に抑えるために、このチョッピング技術が必要となります。アンプの入力信号をチョップすると、図 1 に示すように、 $1/f$ とオフセットが高い周波数に移されます。

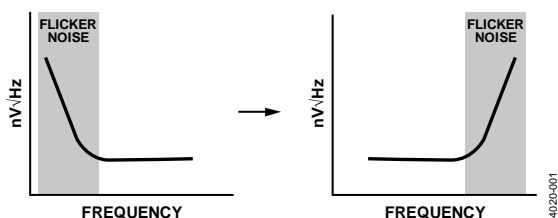


図 1. チョッピングに対するフリッカ・ノイズ ($1/f$)

チョッピング遷移時、スイッチのチャージ・インジェクションにより電流にピークが生じ、これが ADC の入力に加わる電圧の方向 (シンクまたはソース、または両方) に低下やピークを発生させます。電圧の低下は、ADC の入力に接続されたトランスデューサまたはセンサーの出力インピーダンスに比例します。

平均電流値

電流のピーク値は測定が難しい上、他に役立つ情報を何も追加しないため、通常はデータシートに記載されません。この情報は、バッファのチョッピング周波数が ADC の入力信号の帯域幅より高いので、関連性がありません。したがって、ナイキスト周波数より高い周波数 (トーン) を除去するため、あるいは結合ノイズを低減するために追加したローパス・フィルタは、図 2 に示すようにピーク電流を平均化します。

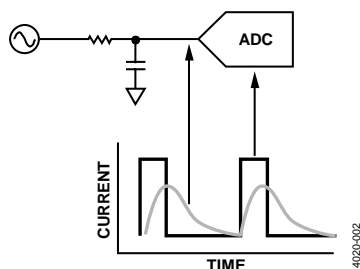


図 2. 入力電流と時間の関係

電流メーターの一方の端子を $V_{DD}/2$ に、もう一方の端子を ADC のアナログ入力ピンに接続して、入力電流を電流メーターで測定します。

電流メーターをいずれかの電圧レールに接続した場合、入力電圧のヘッドルームのため、測定された電流がデータシート上の仕様より大きくなる可能性があります。

入力電流対入力インピーダンス

入力インピーダンスの仕様は、DC 誤差の正確な計算には役立ちません。誤差は、ADC 自体の入力インピーダンスがもたらす負荷効果よりも、主に入力バイアス電流の影響を受けるからです。

入力バイアス電流関連の仕様には、絶対と差動の 2 つがあります。

絶対値 ($I_{ABSOLUTE}$) は、いずれかのアナログ入力ピンで測定された入力電流で、差動入力電流 ($I_{DIFFERENTIAL}$) は、対になったアナログ入力ピン間で測定された電流差です。これは差動入力の ADC にだけ該当します。

DC 誤差の計算方法

入力電流は、入力ピンに接続されたインピーダンスに直接依存するオフセット電圧 (V_{OFFSET}) を生じます。

図 3 に示すように、発生するオフセット電圧は一般に次式で表されます。

$$V_{OFFSET} = I_{ABSOLUTE} \times R$$

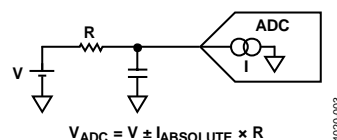


図 3. リーク電流による電圧降下

アナログ入力ピンをオペ・アンプのような低インピーダンス源で駆動する場合、誤差は気づかれないほど微小です。

ADC で測定される誤差は、与えられる入力信号の種類、例えば真の差動入力信号か、擬似差動/シングルエンド入力信号かによって異なります。

真の差動入力信号の場合、入力抵抗 (R) が完全にマッチングしていると仮定すると、ADC で測定される誤差は、次式に示すように、対になったアナログ入力ピン間の差動入力電流によって生じます。

$$V_{ADC} = V \pm I_{DIFFERENTIAL} \times R$$

ここで、 V_{ADC} は ADC の入力電圧です。

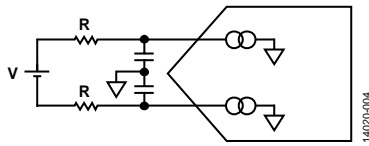


図 4. 差動入力 ADC

抵抗が完全にはマッチングしていない場合、差動入力電流の要因に加え、この抵抗のミスマッチにより誤差が生じます。

一般に、抵抗許容誤差を 1% と仮定すると、ワーストケースのシナリオは次のように定義されます。

$$V_{OFFSET} = 2 \times I_{ABSOLUTE} \times 1\% R + I_{DIFFERENTIAL} \times (R)$$

擬似差動/シングルエンド入力信号の場合は、次の 2 つのシナリオがあります。

- アナログ入力の一方を低インピーダンス源に接続します (図 5 参照)。誤差は次のように定義されます。

$$V_{OFFSET} = R \times I_{ABSOLUTE}$$

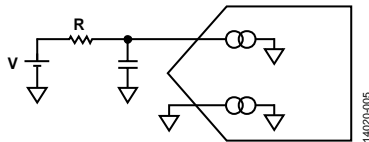


図 5. 擬似差動/シングルエンド ADC

- 両方の入力を高インピーダンス源に接続します (図 6 参照)。誤差は、真の差動信号を使用した場合と同様になります。

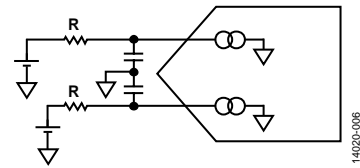


図 6. 擬似差動 ADC

AC 誤差

AC 成分は、入力インピーダンスの仕様に直接依存します。入力インピーダンスは抵抗性のことも容量性のこともあります。入力インピーダンスが容量性の場合、与えられた周波数でのインピーダンスは次のように計算します。

$$Z_C = \frac{1}{2 \times \pi \times C_{IN} \times f_{IN}}$$

ここで、

Z_C は入力インピーダンス。

C_{IN} はデータシートに記載されている入力容量。

f_{IN} は入力周波数。

例えば、容量が 8 pF で入力帯域幅が 1 kHz と仮定すると、最小入力インピーダンスは約 20 M Ω となります。

誤差の最小化

ローパス・フィルタの抵抗のミスマッチに起因する誤差を最小限に抑えるには、小さい抵抗に生じるオフセットとジョンソン・ノイズは小さいため、小さい抵抗と容量の大きいコンデンサを使用するのが望ましいと言えます。