

Σ-Δ ADCのチョッピング

By Adrian Sherry

はじめに

チョッピングは、オフセット電圧と他の低周波数誤差をキャンセルするために使用することができる技術です。このアプリケーション・ノートでは、高分解能Σ-ΔADCのAD7708/AD7718, AD7709, AD7719, AD7782/AD7783でチョッピングどのように行われているかについて概要を説明し、又チョッピングによって得られるメリットについて論じます。

オフセット誤差

オフセット電圧誤差は、信号処理回路内の多くの点で発生する可能性があります；例えば2種類の異金属が結合している時発生する温度依存の熱電対電圧。ADCなどのような集積回路内では、多数の入力オフセット誤差源があります、例えばアンプの入力段トランジスタ間の mismatch、サンプリング・スイッチが閉じている時のサンプリング・コンデンサへの電荷注入、又はEMI放射からの干渉。これらのオフセットは、一般的に好ましくなく、特にそれらが温度によって変化する場合に厄介になります、なぜなら全温度範囲と全電源範囲に渡ってオフセット誤差を除去するのに一回の調整では不十分となるからです。

チョッピング

Σ-Δ変調器の各種アンプの中で発生するオフセットは一般的にアンプをローカル・チョッピングかオートゼロをする事により調整できます。しかし、他のオフセット誤差は、これらの手段によって除去することはできません。上記のADCで実施された解決方法はADC内のアナログ・シグナル・チェーン全体をチョップすることです。この方法によれば、すべてのオフセットと低周波数誤差が取り除かれ、非常に低いオフセット誤差とドリフトを得ることができます。回路を図1に示します。

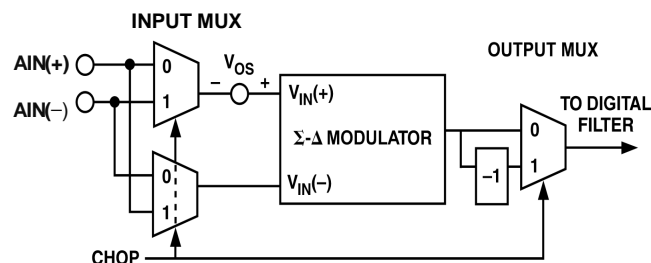


図1チョッピング

差動入力から変調器までの回路が入力MUXで交互に反転（又はチョップ）し、ADC変換がチョップの各フェーズで実行されます。信号がデジタル・フィルタに移る前に、変調器のチョッピングが出力MUXで反転します。もしΣ-Δ変調器のオフセットを入力信号に追加した信号"Vos"としてモデル化すると、チョップ=0時の出力は：

$$(A_{IN(+)} - A_{IN(-)}) + V_{OS}$$

そしてチョップ=1時の出力は：

$$-[(A_{IN(-)} - A_{IN(+)} + V_{OS})]$$

デジタル・フィルタの中でこれら2つの結果を平均化することで、誤差電圧"Vos"は削除され、残りは：

$$(A_{IN(+)} - A_{IN(-)})$$

となりオフセット項が相殺されて無くなり、差動入力電圧に等しい値になります。

結果/調整

結果は、実質的にADCの中で生じたすべてのオフセット誤差を除去します、そしてさらに重要なのは、オフセット温度ドリフトを最小限に抑える事です。上記のADCのドリフトは10 nV/typと規定されています。このレベルの値は実質的には測定不可能です。入力MUXから変調器出力までのアナログ回路全体がチョップされます。従ってADCのオフセット調整は必要ありません。ADCのオフセット誤差仕様は3 μV typです。このオフセット誤差はデバイスをPCBソケットに挿入し、外部から0Vを印加して測定するので、ほとんど各種接点(PCB配線、半田、リードフレーム、ボンディングワイヤ、チップ金属配線など)で使用されている異金属による熱電対誤差から成ります。

ステップ応答の理解

ADCは、チョップ=0とチョップ=1の変換を実行する必要があるため、ADCからの最初の出力は2回の変換期間(2X T_{ADC})がかかります。つまり最初の出力には2回の変換期間のセトリング時間があります。後続の出力は、各変換期間(T_{ADC})ごとに生じます。

アナログ・デバイス社は、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・デバイス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、各社の所有に属します。日本語資料は 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。

©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

この2回の変換に起因する遅延はチャンネルを切り替えた後、PGAゲインを変えた後又はADCモードが変わった後（例えばパワーダウン・モードから抜け出した後）に生じます。つまり中間的/無効な出力は生成されません。チャンネル切り替え後の最初の出力は100% 新しいチャンネルの電圧値に安定します。

もしアナログ入力、ADCの外部からステップ的な変化を受けた場合（例えば、センサ出力が突然変化する、又は外付けMUXが切り替わるなど）、ADCは変化が起こった事を自動的に"認知"しません。それは新しい入力と古い入力の重み付け平均の出力を生じます。それを避けるには、外付けMUXを切り替えた時、コンバータに割り込みをかけ、ADCが新しい変換を開始するように指示します。そうするとADCが再開して $2T_{ADC}$ 後に出力を生成します。

入力信号の変化後、ADCが中間的な値を生じるのは何ら特別な事ではありません。この現象は、アナログフィルタの現象と同じです。もしアナログ・ローパス・フィルタの入力にステップ変化が加われば、ある期間の間、出力は古いアナログ入力と新しいアナログ入力を混ぜ合わせた値になります。

フィルタの出力が完全に新しい入力値を反映するためには、十分な数の時定数に相当する時間が経過する必要があります。

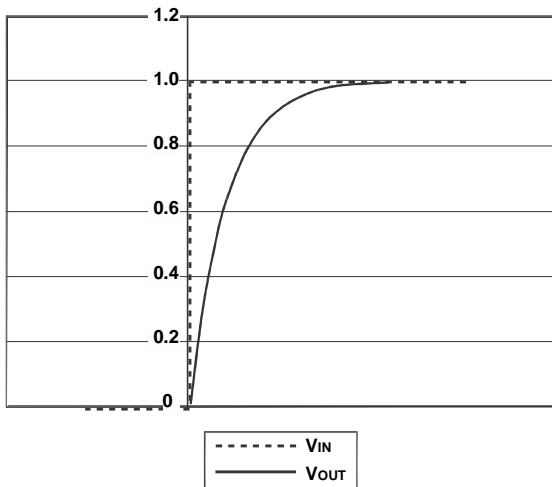


図2.アナログ・フィルタ・ステップ応答

前述のΣ-Δ ADCは、与えられた3dB周波数とセトリング時間を持つローパスFIRフィルタが含まれています、従ってその応答は離散時間という意味では類似していますが、有限長インパルス/ステップ応答になります。

前述のADCの予測不可能と思われる唯一の特性は、アナログ入力に変化があった後に2つの中間的な出力が得る可能性があるという事です。これはチョッピングの影響です。前述のように、チョップされたADC出力は、現在のADC変換結果と一つ前の変換結果の平均値です。もしアナログ入力、ADCの変換期間の途中で変化した場合、現在のADCの変換結果は、古いアナログ入力と新しい入力を混合したものとなり、平均した結果は中間的な値になります。次の（平均化されない）変換は純粋に新しい入力を反映します。

しかし、前の変換結果と平均化された時、それはまだ最終的な値に至らないで、2番目の不安定な出力を生じます。3番目の出力だけが完全に（図3を参照（i））安定します。他のいくつかのΣ-Δ ADCは完全に $2T_{ADC}$ ごと（すなわち可能なスループットの半分で）に出力が生じるようにADCを制限しています。この場合、ADCの変換レートがより低速になるので、アナログ入力の変化後に多くても1つの中間的な結果があるだけです。（図3（ii）を参照）。これはいわゆる"no latency"（遅延なし）と呼称されていますが、実際にはこのようなADCは、アナログ・デバイズの前述のADCよりもステップ入力に対する応答ではより大きな遅延があります。

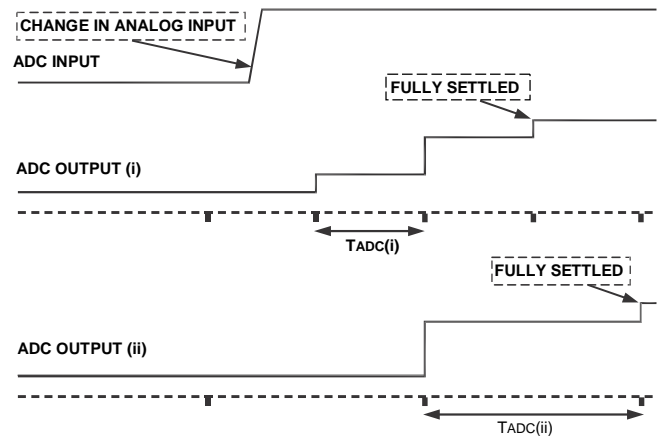


図3.余分な“中間的”結果がある場合（i）とない場合（ii）のADCの遅延の比較

どちらの図がベストか？ ほとんどのアプリケーションでは、できるだけ早く情報を取得する必然性が最も重要です。たとえば、安全性が要求される制御システムでは、反動がオーバーヒートしようとしている事の兆候をより早く察知できれば、それだけ早く正しい対応がとれます。

ADCからの出力がより早ければ、ADCが $2 \times T_{ADC}$ ごとにしか出力しない場合よりも、アナログ入力が変わった兆候がより早く現れます。これはADCの目立った遅延を低減します。

もしステップ的な変化が外付けMUXの変化による場合には一般的にADCと同時に割り込みをかけ、 $2 \times T_{ADC}$ 後に安定した結果を得るのが最適です。しかしもし入力変化がセンサ出力の突然の変化によってもたらされたのであれば、できるだけ早くこの変化の兆候を得る事が重要になると思われるので、それはより重要です。

周波数応答

チョッピングも周波数応答に影響がありますが主に特性が良くなる方向です。2で平均化する動作は $f_{out}/2$ の奇数倍での周波数応答でノッチをつくり50Hz/60Hz除去を改善します。関連したアプリケーション・ノートの“50 Hz/60 Hz除去”を参照してください。

まとめ

チョッピングの主な目的は、オフセット誤差を取り除く事です。アナログ・デバイセスから出ているこれらのADCにおいては、チョッピングはオフセットを取り除くのに優れた働きをします。一つの出力のために2つのADC変換結果が必要という事実は悪くなる方法とも言えますが、しかしこれらのADCで実行されている方法は入力信号の変化を検出する事に対してわずかしか応答時間が悪くならない事を意味します。 Σ - Δ ADCの遅延応答についてはいくつかの誤解を招く情報があるので、このアプリケーション・ノートではこのADCのファミリがいかにより適切な解決方法をご提供しているかを示す試みをしました。