

複数のADC用 リファレンス電圧

超音波画像システムは、通常アナログデジタルコンバータ(ADC)の大規模アレイを心臓部にしています。これらのシステムは、正確なチャンネル間マッチングを必要とするばかりでなく、適正なダイナミック性能を維持するために慎重な電圧リファレンスシステムの設計が必要となります。

これらのリファレンスシステムは通常多数のコンバータに正確、且つ低ノイズのリファレンスを提供します。精度と安定性を更に確実にするには、リファレンスシステムの負荷効果を最小限に抑えるためADCのリファレンス入力をバッファする必要があります。これらの必要条件に応える為に高速ADCの製造メーカは、内部高精度リファレンスと外部高精度リファレンス電圧ソースの両方をサポートするためのリファレンス入力付コンバータを提供し始めました。

例えば医療超音波画像システムは、レシーバのビーム形成電子部品に通常16、24、32個からなる多数のADCを使用しています。最大ビーム精度は絶対最小のビーム形成経路誤差が要求されます。これら誤差は各ADCに存在するノイズ及び実際のリファレンス電圧の不十分な精度が大きな原因となっています。その他の誤差の原因には、リファレンスソースから見える分散負荷の変化があげられます。どのようなシステムアーキテクチャにおいても、この負荷はリファレンスから見える多くの個別の抵抗及び容量負荷から構成されています。このようなADCアレイにリファレンス電圧を提供する方法をいくつかあげます。

- 個別オンチップリファレンス。各ADCにローカルで接続を提供し便利ですが、このオプションはコンバータ間のマッチングが比較的良好でないという特長があります。
- ADCアレイの全てのリファレンス入力に適應される単一外部リファレンス電圧。このような構成は、ユーザが任意の精度をもつ外部リファレンス電圧を設計することを可能にしますが、抵抗ラダー間の小さな変化による誤差が生じます(各ADCに1つのラダー内蔵)。
- ADCのリファレンスラダータップを直接駆動する外部リファレンス。このオプションは、各ADCラダーに適用されたリファレンス電圧を直接制御することによって最大の利得精度を提供します。しかし、ラダーの(比較的)低い抵抗駆動が必要であり、又ADCによってはその内部バイアス点へアクセスを許容しません。

ADC精度

多くのアプリケーションにおいて、利得及びノイズレベルはADCの精度に大きな影響を及ぼします。ADCの利得は、アナログ入力を許容できるデジタル出力コードに関連づける伝達関数のスロープによって表されます。利得を定量化する1つの方法はリファレンス電圧レベルによって直接制御されるフルスケール(FS)入力範囲を測定することです。医療超音波画像システムにおいては、ADCのフルスケール範囲の変化がビーム形成に誤差を生じさせます。またある特定の信号復調スキームにおいて重要な影響を及ぼす可能性のあるADCのクリッピング点を変化させます。

ADCのノイズレベルはADCの利用可能なダイナミック範囲を決定します。このダイナミック範囲は一般的にできるだけ広範囲であるべきです。ADCノイズのリファレンスノイズ構成部分は加算又は乗算されます。加算ノイズは個別のADCのローカルバイパスコンデンサによって容易にフィルタできます。これはADCのダイナミック性能を最上にするために殆どの設計に含まれています。

一方、乗算ノイズはより危険です。超音波アプリケーションでは、オーディオ周波数域のリファレンスノイズがRF周波数域の大きな「固定」信号を変調することがあります。このような信号は超音波ターゲットにおける固定組織によって生成されます。オーディオ変調はRF信号上にドブラ検出器で復調できる側波帯を生成し、検出されたドブラ出力信号にオーディオトーンを発生させます。

超音波アプリケーションにおけるオーディオノイズの許容量を概算するには、MAX1448のような10ビットADCにフルスケールに近いRF信号が適用されたと想定して下さい。デバイスのダイナミック範囲(ほぼ60dB)は-60dBFSのノイズフロアを暗に示しています。そのノイズレベルは1Hz帯域幅に正常化できます。80MHzサンプリングレートのナイキスト帯域幅は40MHzです。補正因数は $\sqrt{40\text{MHz}}=76\text{dB}$ となり、ADCのノイズフロアを-60dBFS-76dBFS=-136dBFSとします。慎重な設計ではリファレンス電圧ノイズが少なくとも20dB低いもの(-156dBFS)を必要とするため2.0Vのリファレンス電圧は非常に低いノイズレベルの33nV_{P-P}(約8nV_{RMS}/√Hz)を必要とします。

複数のADCアレイは各コンバータに内蔵されているものより精度の高いリファレンス電圧を必要とする可能性があります(例えばMAX144xコンバータに内蔵のリファレンス精度は±1%です)。以下の2つの回路はこのようなアレイの参考設計として提示されています。これらは単一の共通低周波数ノイズフィルタを特長とし、各ADCのローカルデカップリングコンデンサで高周波ノイズ抑制を達成しています。

これら3つの電圧は、低ノイズと低DCオフセット特性のため選択されたクワッドオペアンプIC2によってバッファされます。それぞれの電圧フォロアは、リファレンス電圧ノイズとバッファ増幅ノイズの両方を $3nV/\sqrt{Hz}$ のレベルまでフィルタする10Hzローパスフィルタに接続されています。2.0V及び1.0Vのリファレンス電圧は関連ADCの差動フルスケール範囲を $2V_{p-p}$ に設定します。2.0V及び1.0Vのバッファは、それらの電圧間のADC内部ラダー抵抗を駆動します(4kΩを回路上のADCの数で割り算したものです)。例えば32個のADCはそれらの電源から8mAを引き出します。これはIC2の十分な能力範囲内の負荷電流です。

この構成での利得精度は、IC1の精度グレード及び電圧デバイダの抵抗器の公差によっては良好なものとなります。この構成においての各ADCの利得マッチングは通常0.1%です。100Hzでノイズレベルが $3nV/\sqrt{Hz}$ 以下の場合、この回路は優れた性能を提供します。図1に示されているように全てのアクティブな部品の共通パワーサプライは、パワーアップあるいはパワーダウン時のパワーサプライシーケンスの懸念を排除します。

オペアンプの出力が0.1%以上のマッチングでバッファするので、バッファ及びそれに続くローパスフィルタは最大32個のADCをサポートできるように構成できます。

32以上のマッチングされたADCを必要とするアプリケーションには、全てのコンバータに共用する電圧リファレンス及び一連の分圧器を強く推奨します。

結論

優れたチャンネル間マッチングを伴う多数のデータコンバータが必要とされるシステムは、慎重な電圧リファレンスシステムの設計が必要です。共通の高精度な低ノイズリファレンスを使い全てのADCを駆動することは、高度なマッチング達成にあたり貴重なアプローチとなります。MAX144xのファミリーにおける10ビットADCの柔軟性のあるリファレンス入力及び優れたダイナミック性能はこのようなアプリケーションの強力な候補となります。

(類似したアイデアがEDN誌の1/24/02号に掲載されています。)

参考文献：

1. マキシム MAX1444データシートRev. 0, 10/00
2. マキシム MAX1448EVキットデータシートRev 1, 12/01
3. マキシム MAX4249-MAX4252データシートRev. 4, 1/02
4. マキシム MAX6061-MAX6068データシートRev. 1, 5/01

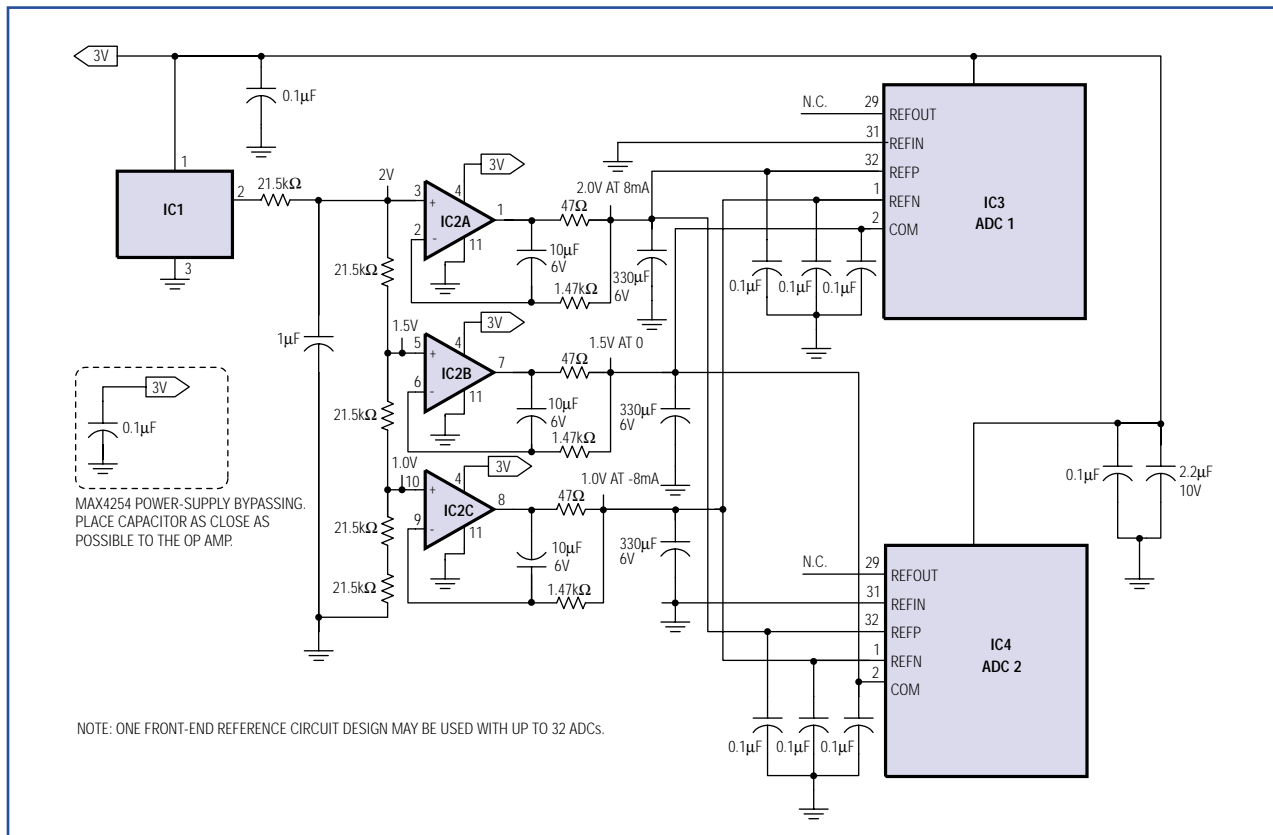


図2. こちらも超音波アプリケーション用で、高精度低ノイズリファレンス回路は最大32のADCを駆動します。