

リファレンス・フィルタを使用して 32 ビット A/D コンバータの SNR が 6dB 増加

デザインノート 568

Guy Hoover

はじめに

A/D コンバータにとって最適な SNR 性能を達成するには、単に低ノイズの信号を A/D コンバータの入力に供給すればいいというわけではありません。低ノイズのリファレンス電圧を供給することも、同様に重要です。リファレンスのノイズは、ゼロスケールでは影響がありませんが、フルスケールでは、どのようなリファレンスのノイズも出力コードに現れるようになります。そのため、特定の A/D コンバータに対してゼロスケールで測定されたダイナミックレンジ (DR) は、フルスケールまたはフルスケールの近くで測定された信号対ノイズ比 (SNR) よりも、通常は数 dB 良い値になります。低ノイズのリファレンス電圧を供給することは、A/D コンバータの SNR が 140dB を超える可能性のあるオーバーサンプリング・アプリケーションにおいては、特に重要になります。このレベルで SNR を達成するには、最良の低ノイズなリファレンスでさえ、ノイズ・レベルを低減するためになんらかの支援が必要になります。

リファレンスのノイズを低減できる選択肢がいくつかあります。バイパス・コンデンサのサイズを増やしたり、単純な RC ローパスフィルタをリファレンス出力に対して使用することは、適切な選択肢ではありません。大きいバイパス・コンデンサをリファレンス出力で使用するだけでは、有効になるほどカットオフ周波数を低くすることができません。受動 RC フィルタを単独で使用すると、低いカットオフ周波数が得られますが、サンプリング周波数および温度と共に変動する出力電圧が生成されます。

複数の低ノイズのリファレンスの出力を並列接続することは効果的な選択肢ですが、高価であり、多くの電力を消費します。ここで示したリファレンス・フィルタは、リファレンスの精度や温度係数を大きく損なうことなく低ノイズのリファレンス電圧を生成し、わずかな消費電力とコストでそれを実現します。

回路の説明

この例で使用された A/D コンバータは、LTC2508-32 (U1) です。LTC2508-32 は、ローパス・デジタル・フィルタ付きの低ノイズ、低消費電力の 32 ビット SAR A/D コンバータです。このデジタル・フィルタは、ピン・ストラップにより選択できる、256 ~ 16384 の範囲をとる 4 種類のダウンサンプリング係数 (DF) を備えています。LTC2508-32 の性能を完全に実現するには、低ノイズ、低温度ドリフトのリファレンスが必要です。

この例で使用されたリファレンスは、LTC6655-5 (U2) です。LTC6655-5 は、高精度 (最大 $\pm 0.025\%$)、非常に低いノイズ (標準で 0.67ppm RMS) およびドリフト (最大 2ppm/ $^{\circ}\text{C}$) 性能を提供します。LTC6655-5 の非常に低いノイズ性能でさえ、LTC2508-32 の SNR 性能を低下させます。

LTC2057 (U3) は、抑制された $1/f$ ノイズを備えるゼロドリフト・オペアンプです。LTC2057 は、200pA 未満の入力バイアス電流 (I_B)、4 μV の最大オフセット電圧、および 0.015 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ の最大オフセット電圧温度係数を備

Linear Technology, Inc. の登録商標です。その他全ての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

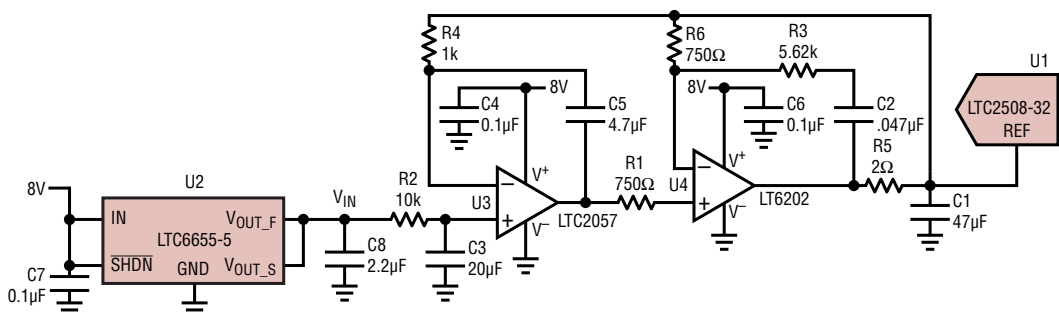


図 1. LTC6655 の出力がフィルタされて LTC2508-32 32 ビット A/D コンバータの SNR が 6dB 増加する

表 1. LTC2508-32 の SNR の比較。LTC6655-5 によって REF ピンを直接駆動した場合と、
図 1 の回路を使用して LTC6655-5 をフィルタした場合を比較した。

DF	ゼロスケールの DR (dB) LTC6655-5	フルスケールの SNR (dB) LTC6655-5	フルスケールの SNR (dB) フィルタ付き LTC6655-5	フルスケールでの LTC6655-5 とフィルタ付き LTC6655-5 の間の SNR (dB) の差分
256	131.4	123.6	129.3	5.7
1024	137.1	129.7	135.8	6.1
4096	142.9	135.2	140.7	5.5
16384	148.0	140.7	145.2	4.5

えています。この温度係数は、LTC6655-5 の温度係数 (2ppm/°C = 10μV/°C) よりもかなり低い値です。

LT6202 (U4) は、低ノイズの高速セトリング・オペアンプであり、LTC2508-32 の REF ピンで必要とされる 47μF のバイパス・コンデンサを駆動するのに必要な高い短絡電流能力を備えています。

図 1 の回路は、0.8Hz のフィルタを形成する R2 および C3 を使用してリファレンス (U2) の出力をフィルタします。コンデンサ C3 は、フィルム・コンデンサである必要があります。タンタル・コンデンサおよび電解コンデンサは、R2 の両端にオフセットを生成する高いリーク電流を持っています。セラミック・コンデンサは、低周波数でノイズの増加をもたらすマイクロホン効果を示す可能性があります。フィルタされた出力は、U3 の高インピーダンス入力によってバッファされます。U3 の 200pA の最大 I_B では、R2 の両端の最大電圧降下はわずか 2μV になります。この電圧降下が LTC2057 のオフセット電圧と組み合わせると、6μV の最大誤差を生じます。この誤差は、LTC6655-5 の 0.025% (1.25mV) の最大初期精度仕様と比べて比較的小さい値です。U3 および U4 は複合アンプを形成し、この複合アンプは LTC2057 の低いオフセット、オフセット温度係数、および抑制された 1/f ノイズ、ならびに LT6202 の高速セトリングを備えています。U1 の REF ピンは、サンプリングレートおよび出力コードによって変化する C1 から電荷を取り出します。U4 は、REF ピンの電圧を固定された状態に保つために、この電荷を補充する必要があります。R5 は、U4 を C1 から絶縁するために使用され、REF ピンでのセトリングを改善します。高い電圧定格および温度定格を備える物理的に大きいセラミック・コンデンサは低い電圧係数を持っており、高い実効容量を提供します。そのため、C1 は 1210 サイズおよび 10V の定格を備える X7R である必要があります。

回路の性能

図 1 では、LTC2508-32 が、4 つの増加するダウンサンプリング係数 (DF) 全てについて、A/D コンバータの入力を相互に接続して REF ピンを LTC6655-5 によって直接駆動したときよりもダイナミックレンジが約 6dB 増える、というほぼ理論的な挙動を示してい

データシートのダウンロード

www.linear-tech.co.jp/LTC2508-32

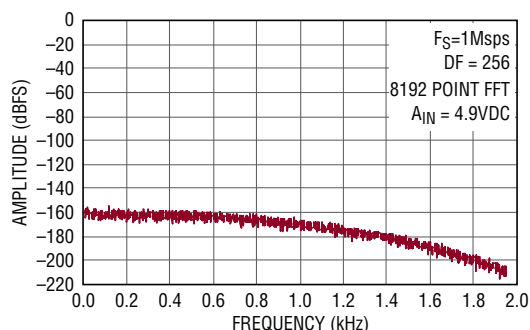


図 2. 図 1 の回路を使用して REF ピンを駆動した場合の F_s 近くの LTC2508-32 のノイズフロア。スプリアス・トーンを示していない。

ます。さらに表 1 は、A/D コンバータがフルスケール近くで駆動された場合に、DR に比べて SNR が 7.8dB 程度低くなっていることを示しています。ここでは、LTC6655-5 を使用して A/D コンバータの REF ピンを直接駆動しています。この低下は、リファレンスのノイズに起因しています。図 1 の回路を使用して LTC2508-32 の REF ピンを駆動すると、表 1 に示すように、SNR が最大 6.1dB 改善します。

LTC2057 などのチョップ安定オペアンプは、多くの場合、チョッピング周波数およびその奇数倍の高調波でトーンを示します。LTC2057 は、これらのアーチファクトをオフセット電圧より十分に低い値まで抑える回路を利用します。この回路は、A/D コンバータ自体のフィルタと組み合わせると、図 2 のノイズ・フロアのプロットに示すように、可視のトーンをオペアンプのチョッピング周波数から除去する働きをします。図 2 のプロットでは、スプリアス・トーンの最小のトレースさえも明らかにするように、ノイズ・フロアを滑らかにしようとして 5 つの収集データを平均しています。

まとめ

精度や温度係数を損なわずにリファレンス出力のノイズを削減し、わずかな消費電力およびコストしか必要としないフィルタ回路を示しました。この回路の出力を LTC2508-32 のリファレンス・ピンに適用して、32 ビットの低ノイズ A/D コンバータの SNR が、ダウンサンプリング係数の全範囲にわたって、A/D コンバータをリファレンスで直接駆動する場合と比べて最大 6.1dB 改善しました。