

シグナル・チェーンの ノイズの解析手順

著者：Pasquale Delizia、プロダクト・マーケティング・エンジニア
 Rose Delaney、プロダクト・アプリケーション実務実習生

概要

高速、広帯域幅のシグナル・チェーンでは、ノイズ性能を維持することが重要です。そこで、本稿では、シグナル・チェーンのノイズ性能を理論的に解析するために必要な手順を示します。具体的な解説を行うために、解析の対象としては特定のシグナル・チェーンを取り上げますが、本稿で示す内容はあらゆるシグナル・チェーンに対して有効です。本稿で示す解析手順は、次の5つのフェーズから成ります。前提条件の明確化、シグナル・チェーンの簡略回路図の作成、シグナル・チェーンの各ブロックを対象とした等価ノイズ帯域幅の計算、シグナル・チェーンの各ブロックの出力に現れるノイズの計算、各ブロックのノイズの合算の5つです。本稿で示す内容により、各ブロックで生成されるノイズは簡単な計算によって算出できることがわかるはずです。シグナル・チェーンを構成する各ブロックが全体のノイズ性能にどのように寄与するのかを理解すれば、コンポーネントの選択などの面で回路に適切な変更を加え、ノイズ性能を最適化することが可能になります。

はじめに

計測アプリケーションで使用するシグナル・チェーンを設計する際には、そのノイズが十分に小さく、対象とする最小の信号を簡単に抽出できることを確認しなければなりません。つまり、設計を行う際にはノイズの解析を行うことが重要です。詳細な解析は、その後の工程における時間とコストの節減につながります。本稿では、シグナル・チェーンのノイズ解析を行う際の主な手順について説明します。シグナル・チェーンの例としては、図1の回路構成を取り上げることにします。これは、アナログ・デバイゼスの「高精度広帯域幅」のページに掲載されているものです。同ページの「電流および電圧の測定」のセクションで、「最適化された電力」のタブを選択すると表示されます。

電流および電圧の測定:

AC解析/DC解析をサポートするノイズ性能が得られるように最適化された、最大1MHzの広い帯域幅を測定するためのシグナル・チェーン・オプション

最適化されたノイズと帯域幅		最適化された電力		最適化された密度	
保護	ゲイン	ADCドライバ	ADC	電圧リファレンス	絶縁
ADG5421F ±60Vの故障保護および 検出、11ΩのR _{ON} 、 デュアルSPSTスイッチ	LTC6373 入力バイアス電流が25pAの 36V完全差動プログラマブル・ ゲイン計装アンプ	ADA4945-1 高速でオフセット・ドリフトが ±0.1μV/°Cの 完全差動ADCドライバ	LTC2387-18 LTC2387-16 15MSPS、 18/16ビット	LTC6655 ノイズが0.25ppmの 低ドリフト高精度 リファレンス	ADN4654 5kV rmsおよび3.75kV rmsの デュアルチャンネルLVDS ギガビット・アインソーラ

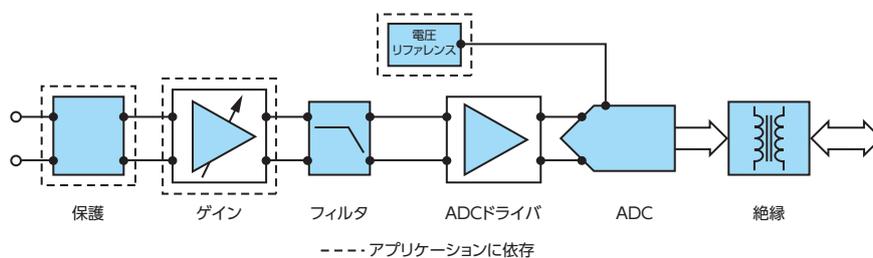


図1. 電流/電圧の測定に用いる高精度、広帯域幅のシグナル・チェーン。
電力の面で最適化を図った構成です。



ノイズの解析作業は、以下に示す5つのステップから成ります。

【ステップ1】前提条件を明確化する

【ステップ2】シグナル・チェーンの簡略回路図を作成する

【ステップ3】シグナル・チェーンの各ブロックを対象として等価ノイズ帯域幅を計算する

【ステップ4】シグナル・チェーンの各ブロックの出力に現れるノイズを計算する

【ステップ5】各ブロックのノイズを合算する

以下、各ステップについて詳しく説明していきます。

【ステップ1】前提条件を明確化する

ノイズに限らず、シグナル・チェーンについて何らかの解析を行う際には、その構成要素である各ブロックに関する前提条件を洗い出すことが重要です。本稿で取り上げる回路の解析を行うにあたって必要となる前提条件の一部を以下に列挙します。

▶ 保護ブロック

- 本稿では、保護ブロックによって深刻なノイズが追加されることはないかと仮定します。このブロックからのノイズは、保護用のスイッチの小さなオン抵抗に起因して発生します。本稿の例では、オン抵抗が11Ωの「ADG5421F」を使用します。同ICのノイズ・スペクトル密度 (NSD: Noise Spectral Density) は0.43nV/√Hzです。この値は、ゲイン・ブロックの最小NSDの1/18であり、考慮する必要はありません。保護用の回路 (TVSダイオードなど) を追加する場合には、その回路について考察する必要があります。

▶ フィルタ・ブロック

- 信号に適用するフィルタ (以下、信号フィルタ) のブロックは、1つだけ極を持つと仮定します。対象とする帯域幅 (400kHz) とサンプリング周波数 (15MSPS) から考えて、単極のフィルタを使用すると仮定して構いません。

▶ リファレンス・ブロック

- 本稿の例では、優れたノイズ性能 (10Hz~1kHzで0.25 p-p, 0.21ppm rms) を備えた電圧リファレンスを選択しています。そのため、このブロックからのノイズは、無視できると仮定します。これは、本稿のシグナル・チェーンに限った前提条件です。異なるシグナル・チェーン、異なるリファレンスを使用する場合には解析の対象にしなければなりません¹。

▶ 絶縁ブロック

- 絶縁ブロックからのノイズは考慮しません。

▶ その他の前提条件

- 解析は、温度が25℃ (298.15K) という条件で行います。
- 各ブロックのNSDIは、サンプリング周波数に対して一定であると仮定します。また、熱雑音 (kTCノイズ) のみを考慮します。
- ADCについては、トータルのノイズを算出します (kTCノイズとその他のノイズ源の両方を含みます)。
- サンプリング周波数 (15MSPS) は、対象とする帯域幅 (400kHz) よりもはるかに高いと仮定します。

【ステップ2】シグナル・チェーンの簡略回路図を作成する

図1のようなシグナル・チェーンの概念図を基に、より具体的な簡略回路図を作成します (図2)。簡略回路図は、以下のような要素から成ります。

▶ ゲイン・ブロック

▶ 信号フィルタ

▶ ADCドライバ

▶ ADCの入力RCフィルタ

▶ ADC

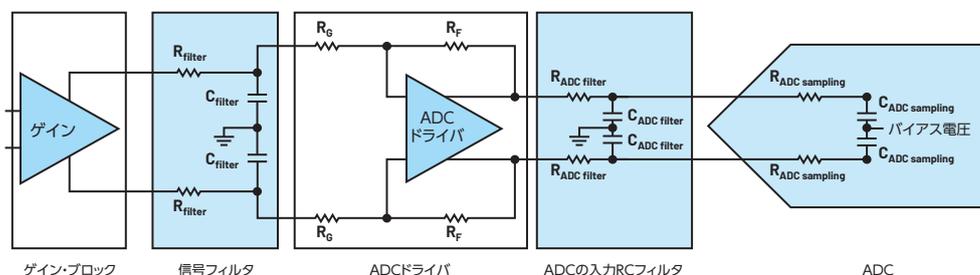


図2. シグナル・チェーンの簡略回路図

この回路図については、以下のような点に注意してください。

- ▶ ゲイン・ブロックはブラック・ボックスとして扱います。同ブロックのノイズ性能はゲインに基づき、内部の全ノイズ源を考慮したものになるということです。ゲイン・ブロックで生成されるノイズは、ゲイン・アンプのデータシートに記載されているNSDの値から直接計算することができます。ゲインの設定は、ゲイン・ブロック中で行われます。
- ▶ 信号フィルタは、ドライバの回路と組み合わせて実現されていると考えることができます。パッシブ・フィルタを使用すると、アクティブ・フィルタを使用する場合と比べて消費電力を抑えられます。消費電力は、解析の対象とするシグナル・チェーンの主要な要素の1つです。本稿の例の場合、抵抗 R_{filter} 、 R_G 、 R_F の値を慎重に選択し、回路全体のゲインが1になるように設定しなければなりません (図4)。 R_G の値は、信号フィルタの帯域幅に対して次のように寄与します。

$$bandwidth_{signal\ filter} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_1 \times C_{filter}}$$

ここで、 R_1 は以下の式で表されます。

$$R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{filter}} + \frac{1}{R_G}}$$

- ▶ ADCの入力部には、RCフィルタ (以下、ADCの入力RCフィルタ) を配置します。このフィルタで使用する部品の値は、「[Precision ADC Driver Too \(高精度ADCドライバーツール\)](#)」を使用することで簡単に決定できます。本稿の解析では、同ツールのデフォルトの値を使って計算を行うことにします。各値については、製品のデータシートに記載されたものを使用したり、計算によって求めたりすることも可能です²。

【ステップ3、4】シグナル・チェーンの各ブロックを対象として等価ノイズ帯域幅を計算する、シグナル・チェーンの各ブロックの出力に現れるノイズを計算する

ここでは、ステップ3、ステップ4の計算を同時に行います。まず、シグナル・チェーンの各ブロックを対象として等価ノイズ帯域幅を計算します。次に、各ブロックにおいて、等価ノイズ帯域幅の範囲内で生じるノイズの量を計算し、その出力に現れる影響を明らかにします。

使用する主な計算式

このステップで必要となる主な計算式、概念についての説明を以下に列挙します。

- ▶ 抵抗のNSDは、次の式によって計算できます。

$$NSD_{resistor} = \sqrt{4kTR} [V/\sqrt{Hz}]$$

- ▶ 等価ノイズ帯域幅 (ENB: Equivalent Noise Bandwidth) とは、実装されているフィルタと同等の積分ノイズ出力を生成するブリック・ウォール・フィルタの帯域幅のことです³。
- ▶ シグナル・チェーンのフィルタのENBは、以下のように計算します。

- 単極システムの場合

$$ENB = \frac{[帯域幅] \times \pi}{2}$$

- 2極システムの場合

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

- 上記の計算式は、ADCの入力RCフィルタとADCのサンプリング部のRC回路によって構成される2極フィルタに対してのみ有効です。別のフィルタ構成を使用する場合には、異なる考察が必要になる可能性があります。
- ▶ 複数の極を持つシステムについては、表1を参照してください。表に示したノイズ帯域幅比を使用して、ENBを計算します³。

$$\left(1.57 = \frac{\pi}{2}\right)$$

表1. 極数とノイズ帯域幅比の関係

極数	ノイズ帯域幅比
1	1.57
2	1.22
3	1.16
4	1.13
5	1.11

以下で示す解析は、図3のように信号フィルタとしてパッシブ・フィルタを使用するケースを対象とします。また、図4に示すように、抵抗値の関係は $R_{filter} = R_G = R_{driver}/2$ であるとし、その目的は、ドライバ・ブロックで不要なゲインが生じないようにすることです。つまり、ゲイン・ブロック以外ではゲインが加わらないようにします。更に、図4のように $R_{driver} = R_F$ であるとし、

ゲイン・ブロック

ここからは、各ブロックのノイズについて具体的に検討していきます。まずはゲイン・ブロックについて説明します。

- ▶ ゲイン・ブロックで生成されるノイズは、フィルタ・ブロックで除去されます。フィルタ・ブロックの帯域幅は、ADCの入力RCフィルタとADCのサンプリング部のRC回路で構成されるフィルタ（以下、ADCの複合フィルタ）よりもはるかに狭くなります。

- ▶ ENB は以下の式で決まります。

$$ENB = \frac{[\text{帯域幅}] \times \pi}{2}$$

- ▶ ゲイン・ブロックのノイズは以下の式で表されます。

$$noise_{gain\ stage} = NSD \times PGA_{gain} \times \sqrt{ENB}$$

- NSDの値は、ゲイン・ブロックのすべてのノイズ源を考慮したものであり、データシートに記載されています。

信号フィルタ

次に、信号フィルタについて検討します。

- ▶ 信号フィルタ（アンチエイリアシング・フィルタ）は、下流の完全差動アンプ（FDA：Fully Differential Amplifier）段のゲインが1に維持されるように設計しなければなりません。そのためには、FDAの入力抵抗を値の等しい2つの抵抗に分割し、一方を信号フィルタ（パッシブ・フィルタ）で、もう一方をFDAの入力部で使用します。

$$R_{filter} = R_G = \frac{R_{driver}}{2}$$

信号フィルタの抵抗 R_{filter} によって生成されるノイズは、フィルタ自身によって除去されます。信号フィルタの帯域幅は、ADCの複合フィルタよりもはるかに狭くなります。

- ▶ ENB は以下のように決まります。

$$ENB = \frac{[\text{帯域幅}] \times \pi}{2}$$

- ▶ 信号フィルタのノイズは以下の式で決まります。

$$noise_{signal\ filter} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \frac{R_{driver}}{2} \times ENB} \quad [V_{rms}]$$

- 上式において赤い字で示した2は、差動構成に関連する値です。

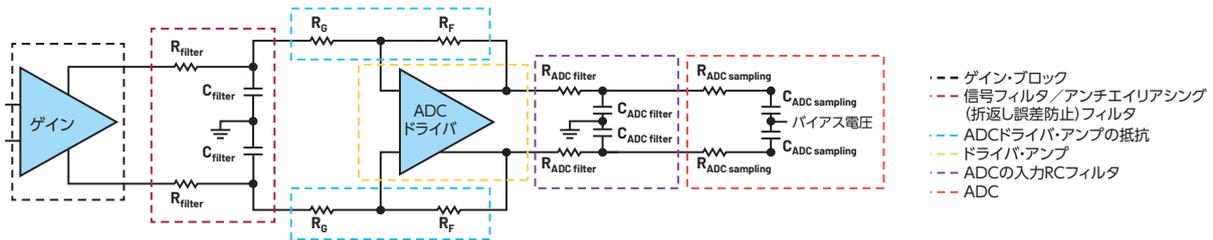


図3. シグナル・チェーンの各部のグループ分け。グループ分けした各部のノイズを計算します。

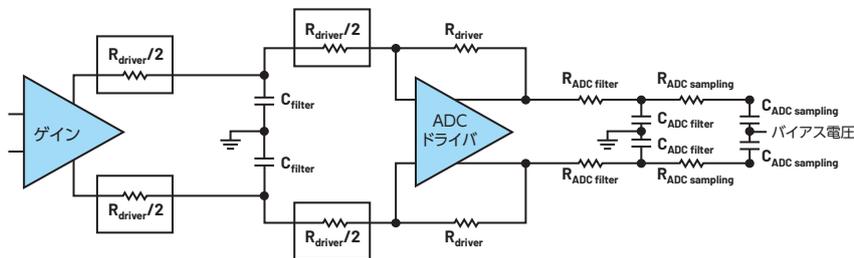


図4. ノイズ解析を行うための抵抗値の設定

ADCドライバ・アンプの抵抗

次に、図3で水色の破線で示したADCドライバ・アンプの抵抗について検討します。

▶ これらの抵抗（図4で言えば、 R_{driver} と $R_{driver}/2$ ）によって生成されるノイズは、下流の2つのブロックにまたがって存在するADCの複合フィルタによって除去されます。

- 先述したように、上記の複合フィルタとは、ADCの入力RCフィルタとADCのサンプリング部のRC回路で構成される2次のフィルタのことです。

▶ ENBは以下の式で表されます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

▶ ADCドライバ・アンプの入力抵抗によって生成されるノイズは以下のようになります。

$$noise_{driver\ amp\ input\ resistors} = \sqrt{2 \times 4 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{driver}}{2} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式において赤い字で示した2は、差動構成に関連する値です。
- 上式において赤い字で示した4は、ノイズ・ゲインに関連する値です。

$$\left(\frac{R_{driver}}{2} \right)^2 = 2^2$$

▶ ADCドライバ・アンプの帰還抵抗によって生成されるノイズは以下のようになります。

$$noise_{driver\ amp\ feedback\ resistors} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式において赤い字で示した2は、差動構成に関連する値です。

上記2つの式は、以下のように1つにまとめることができます。

$$noise_{driver\ amp\ resistors} = \sqrt{(2 \times 4 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{driver}}{2} \times ENB) + (2 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB)} \quad [V\ rms]$$

ドライバ・アンプ

続いては、ADCドライバの中核となるドライバ・アンプのノイズについて検討します。

▶ ドライバ・アンプによって生成されるノイズは、ADCの複合フィルタによって除去されます。

- 上記の複合フィルタは2次のフィルタです。

▶ ENBは以下の式で表されます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

▶ ドライバ・アンプのノイズは以下の式で表されます。

$$noise_{driver\ amp} = NSD_{driver} \times \sqrt{9 \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式中の9は、アンプのノイズ・ゲインに関連する値です。

$$\left(1 + \frac{R_{driver}}{2} \right)^2 = 3^2$$

ADCの入力RCフィルタ

次に検討するのは、ADCの入力RCフィルタについてです。

▶ ADCの入力RCフィルタにおいても、その抵抗によってノイズが生成されます。そのノイズは、ADCの複合フィルタによって除去されます。

- 上記の複合フィルタは2次のフィルタです。

▶ ENBは以下の式で表されます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

▶ ADCの入力RCフィルタのノイズは以下の式で表されます。

$$noise_{ADC\ input\ RC\ filter} = \sqrt{(2 \times 4 \times k \times T \times R_{ADC\ input\ filter} \times ENB)} \quad [V\ rms]$$

- 上式中の2は、差動構成に関連する値です。

ADC

残る1つのブロックは、ADCです。

- ▶ ADCによって生成されるノイズは、データシートの値から直接計算することができます。
- ADCのノイズは以下の式で表されます。

$$noise_{ADC} = \frac{[\text{フル・スケール}]}{2 \times \sqrt{2} \times 10^{\frac{SNR}{20}}}$$

- フル・スケールの振幅とS/N比の値（単位はdBFS）は、データシートに記載されています。

【ステップ5】各ブロックのノイズを合算する

ステップ5では、ここまで算出した各ブロックのノイズを合算します。

- ▶ 各ブロックのノイズの総和は、二乗和平方根によって求められます。
- 以下の式によって、各ブロックのノイズの総和を求めます。

$$noise_{total} = \sqrt{\begin{matrix} noise_{gain\ stage}^2 + noise_{signal\ filter}^2 \\ + noise_{driver\ amp}^2 + noise_{driver\ amp\ resistors}^2 \\ + noise_{ADC\ input\ RC\ filter}^2 + noise_{ADC}^2 \end{matrix}} [V_{rms}]$$

NSDの計算方法

ここで、NSDの計算方法について触れておきます。

- ▶ NSDは、ADCのサンプリング周波数に基づいて計算することができます。
- ▶ NSDは以下の式で表されます。

$$NSD = \frac{noise_{total}}{\sqrt{\frac{ADC_{sampling\ frequency}}{2}}} [V/\sqrt{Hz}]$$

注意すべき事柄

以下に、解析を行う上での注意点を示します。

- ▶ 異なる要素のNSDは、同じ帯域幅という条件下で測定が行われている場合だけ直接加算することができます。
- ▶ 信号フィルタの抵抗の値は、シグナル・チェーンのノイズと消費電力に対するアプリケーションの要件と、対象とする帯域幅に基づいて選択する必要があります。

入力換算ノイズに関連する式

最後に、入力換算ノイズに関連する式を示しておきます。

$$[\text{入力換算ノイズ}] = \frac{noise_{total}}{PGA_{gain}}$$

$$[\text{入力換算ノイズ密度}] = \frac{[\text{入力換算ノイズ}]}{\frac{FS}{2}}$$

サマリー・シート

本稿で説明した内容についてまとめます。

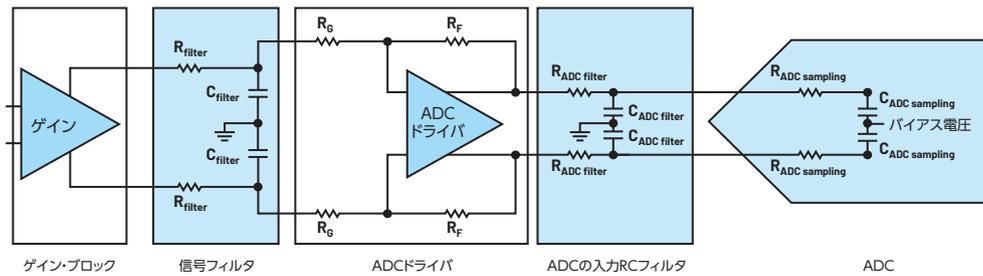


図5. 対象とする回路

表2. 差動シグナル・チェーンのノイズ源

ゲイン・ブロック	$noise_{gain\ stage} = NSD \times PGA_{gain} \times \sqrt{ENB}$
信号フィルタ	$noise_{signal\ filter} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{driver}}{2} \times ENB} [V\ rms]$
ADCドライバ	$noise_{driver\ amp\ resistors} = \sqrt{(2 \times \left(\frac{R_F}{R_G}\right)^2 \times k \times T \times R_G \times ENB) + (2 \times 4 \times k \times T \times R_F \times ENB)}$ $noise_{driver\ amp} = NSD_{driver} \times \sqrt{\left(1 + \frac{R_F}{R_G}\right)^2 \times ENB}$
ADCの入力RCフィルタ	$noise_{ADC\ input\ RC\ filter} = \sqrt{(2 \times 4 \times k \times T \times R_{ADC\ input\ filter} \times ENB)} [V\ rms]$
ADC	$noise_{ADC} = \frac{[フル・スケール]}{2 \times \sqrt{2} \times 10^{\frac{SNR}{20}}}$

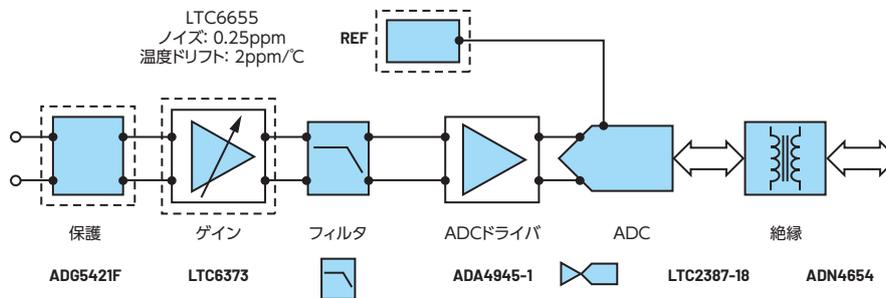


図6. 対象とする回路の概念図

表3. 図6の各ブロックのノイズ

ゲイン	Noise _{gain stage} LTC6373	Noise _{signal filter}	Noise _{driver amp resistors}	Noise _{driver amp} ADA4945	Noise _{ADC input RC Filter}	Noise _{ADC} LTC2387	Noise _{total} (RSS)
0.25	8.30	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	91.3
0.5	10.5	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	91.6
1	14.8	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	92.2
2	19.3	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	93.0
4	30.1	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	95.8
8	53.3	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	105
16	101	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	136

* 上記の測定値の単位はすべてμV rms

$$R_{filter} = R_G = \frac{R_{driver}}{2} = 250\ \Omega, R_{driver} = R_F = 500\ \Omega, R_{ADC\ filter} = 25\ \Omega$$

まとめ

本稿で示した手順に従えば、シグナル・チェーンのノイズ性能の解析／計算を行うことができます。このような解析により、シグナル・チェーンの個々のコンポーネントが全体のノイズ性能に与える影響を把握することが可能になります。また、その影響を最小限に抑える方法についての有用な洞察が得られます。例えば、抵抗の値を変えたり、使用するコンポーネントを変更したり、ENBを最小化したりするといった具合です。それにより、そのシグナル・チェーンによって対象とする最小の信号を抽出できるという確証を得ることができます。結果として、時間とコストを節約することが可能になります。

付録

別の構成の回路の解析方法

図3の回路では、信号フィルタとしてパッシブ・フィルタを使用していました。ただ、実際にはパッシブ・フィルタの代わりにアクティブ・フィルタを使用するという選択肢も存在します（図7）。

シグナル・チェーンにおいて、アクティブ・フィルタとパッシブ・フィルタのうちどちらを使用すべきなのは、アプリケーションの性質に依存します。ここでは、アクティブ・フィルタを使用する場合のノイズの解析方法を紹介します。

ここでは、消費電流が少なく、低ノイズのアクティブ・フィルタを例にとって解析を実施しました。しかし、周波数に対する歪み性能は良好だとは言えなかったため、アプリケーションによっては以下のとおりの結果が得られない可能性があります。この点にはご注意ください。

アクティブ・フィルタを使用する場合には、以下に列挙するように計算方法を変更する必要があります。

信号フィルタ

まず、信号フィルタのENBは以下のようになります。

$$ENB = \frac{[\text{帯域幅}] \times (\pi)}{2}$$

- ▶ アクティブ・フィルタのノイズは以下の式で表されます。

$$noise_{active\ filter} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times R_{filter} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式中の2は、差動構成に関連する値です。
- ▶ R_{filter} は、ゲインが1で維持されるように選択します。

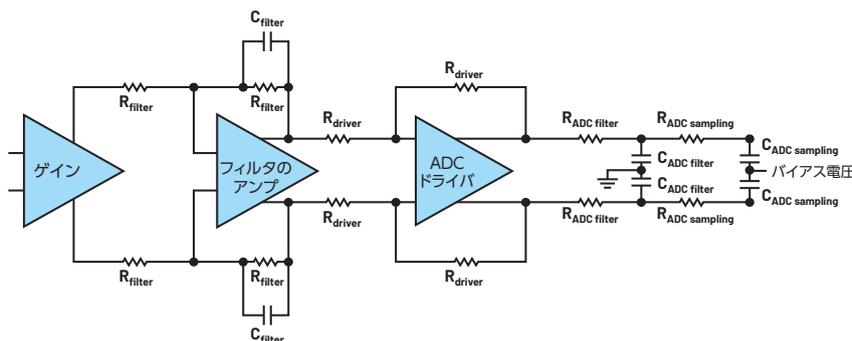


図7. アクティブ・フィルタを使用する場合の回路構成

アクティブ・フィルタのアンプ

パッシブ・フィルタではアンプは使用しません。それに対し、アクティブ・フィルタでは、フィルタを構成するアンプからノイズが生じます。そのため、これに関する検討を行う必要があります。

- ▶ ENBは以下の式で表されます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

- ▶ アクティブ・フィルタのアンプのノイズは以下の式のようになります。

$$noise_{filter\ amp} = NSD \times \sqrt{2 \times ENB} \quad [V\ rms]$$

ADCドライバ・アンプの抵抗

続いて、ADCドライバ・アンプの抵抗について検討します。まず、ENBは以下の式で表されます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

- ▶ アクティブ・フィルタを使用する場合、ドライバ・アンプの入力抵抗によって、以下の式で決まるノイズが発生します。

$$noise_{driver\ amp\ input\ resistor} = \sqrt{2 \times 1 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式中の2は、差動構成に関連する値です。
- アクティブ・フィルタにおいて、アンプのノイズ・ゲインは1です。

$$\left(\frac{R_{driver}}{R_{driver}}\right)^2 = 1^2$$

- ▶ ドライバ・アンプの帰還抵抗では、以下の式で決まるノイズが発生します。

$$noise_{driver\ amp\ feedback\ resistor} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

- 上式中の2は、差動構成に関連する値です。

上記2つの式は、次のように1つにまとめることができます。

$$noise_{driver\ amp\ resistors} = \sqrt{4 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB} \quad [V\ rms]$$

ドライバ・アンプ

続いて、ドライバ・アンプについて検討します。ENBは、以下の式で表すことができます。

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})}$$

- ▶ アクティブ・フィルタを使用する場合、ドライバ・アンプのノイズは以下の式ようになります。

$$noise_{driver\ amp} = NSD_{driver} \times \sqrt{4 \times ENB} \ [V_{rms}]$$

- 上式中の4は、アンプのノイズ・ゲインに関連する値です。

$$\left(1 + \frac{R_{driver}}{R_{driver}}\right)^2 = 2^2$$

上記の値は、使用するアンプに固有のものであります。

- ここでは、すべてのノイズがオペアンプの非反転入力に現れるシングルエンドの等価回路を使用できます。

上記に示した以外に必要な計算は、パッシブ・フィルタを使用する場合と同じです。

参考資料

¹ Alan Walsh 「高精度逐次比較型ADC用の電圧リファレンス回路の設計」 Analog Dialogue、Vol. 47、No. 2、2013年6月

² Alan Walsh 「高精度SAR A/Dコンバータ (ADC) のフロントエンド・アンプとRCフィルタの設計」 Analog Dialogue、Vol. 46、No. 4、2012年12月

³ Tim J. Sobering 「Technote 1: Equivalent Noise Bandwidth (技術ノート1: 等価ノイズ帯域幅)」 Kansas State University、1991年5月

「MT-048 Tutorial: Op Amp Noise Relationships: 1/f Noise, RMS Noise, and Equivalent Noise Bandwidth (MT-048 チュートリアル: オペアンプのノイズの関係: 1/fノイズ、RMSノイズ、等価ノイズ帯域幅)」 Analog Devices、2009年



著者について

Pasquale Delizia (pasquale.delizia@analog.com) は、アナログ・デバイセズのプロダクト・マーケティング・エンジニアです。2010年から高精度コンバータ技術グループに所属。コンバータ製品のアーキテクチャを担当した後、同グループのマーケティング職に異動しました。2006年にイタリアのバリー工科大学で電子工学の修士号を取得。2010年にイタリアのレッチェ大学でマイクロエレクトロニクスに関する博士号を取得しています。2021年には、レディング大学ヘンリー・ビジネス・スクールで経営学の修士号を取得しました。



著者について

Rose Delaneyは、アイルランド国立大学コーク校で電子工学を専攻しています。アナログ・デバイセズの高精度技術グループで、2021年から実習生としてプロダクト・アプリケーションに関する実務に携わっています。



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

アナログ・デバイセズ株式会社

お住いの地域の本社、販売代理店などの情報は、analog.com/jp/contact をご覧ください。

オンラインサポートコミュニティEngineerZoneでは、アナログ・デバイセズのエキスパートへの質問、FAQの閲覧ができます。

©2021 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
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。
Ahead of What's Possibleはアナログ・デバイセズの商標です。

AD5512-0-12/21

VISIT ANALOG.COM/JP