

固定カットオフ周波数を使用した、シングルエンド ADC 入力向けの アンチエイリアシング・フィルタ回路の設計

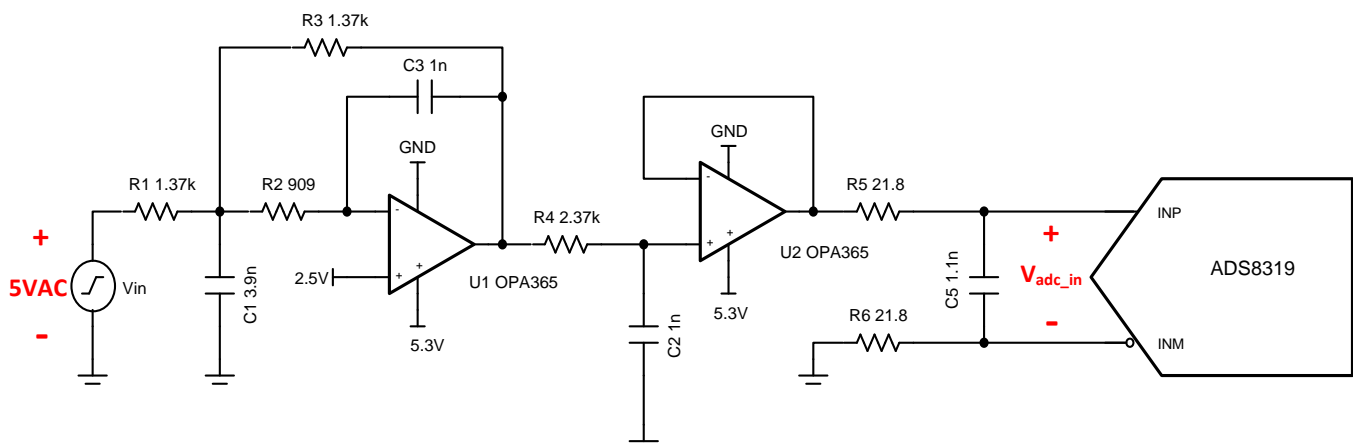
Manuel Chavez

入力	ADC入力	デジタル出力ADS8319
$V_{in\ Min} = 0.1V$	$V_{adc_in} = 4.9V$	FAE1 _H または64225 ₁₀
$V_{in\ Max} = V_{REF} = 4.9V$	$V_{adc_in} = 0.1V$	051F _H または1311 ₁₀

電源					
V_{cc}	V_{ee}	V_{cm}	V_{REF}	AVDD	DVDD
5.3V	GND (0V)	2.5V	5V	5V	5V

設計の説明

このクックブックには、TIの**アナログ技術者向けカリキュレータ**のAntialias Filter Designerを使用して、シングルエンド SAR ADC入力用アンチエイリアシング・フィルタを設計する方法を示します。このツールにより、所定のADCの1/2 LSBまでエイリアス信号を減衰するフィルタの仕様を特定できます。この設計手法は固定カットオフ周波数を使用するものであり、回路例ではADS8319 ADCを使用しています。このシングルエンド・デバイス回路は、**データ収集、ラボ計測機器、オシロスコープ、アナログ入力モジュール、バッテリー駆動機器**といった低消費電力用途に適しています。



仕様

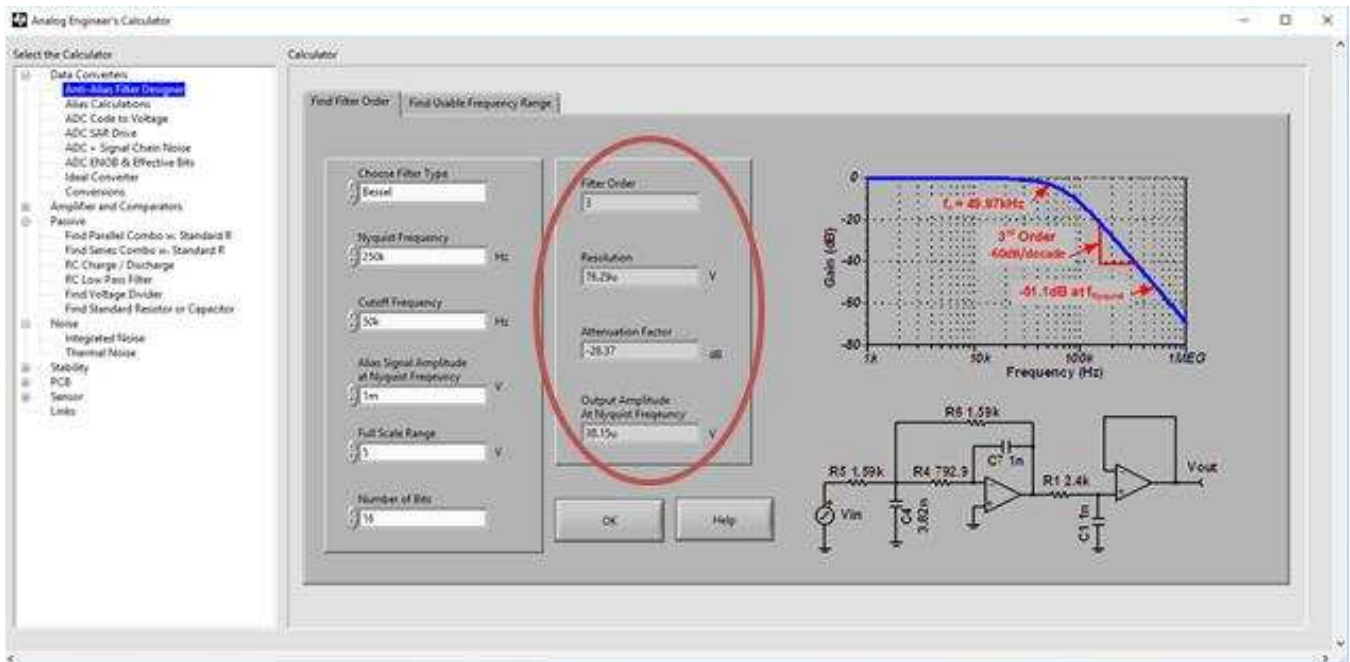
仕様	計算結果/目標	シミュレーション結果
ナイキストで1mVのエイリアス信号を½ LSBに減衰 $V_{in_Nyquist} = 1\text{mV}$ (250kHz時)	$V_{out_Nyquist} \leq \frac{1}{2} \text{LSB}$ ½ LSB = 38.14µV (250kHz時)	$V_{out_Nyquist} = 21\mu\text{V}$ 減衰量 = -33.43dB
ADC過渡入力電圧セトリング	< 0.5 LSBまたは38.15µV	91.5nV
ノイズ	78.9µV	87.77µV
帯域幅	50kHz	50.1kHz

デザイン・ノート

1. *TI Precision Labs*では、周波数領域のエイリアシングについて説明し、エイリアスは回避または最小化すべき誤差源であると述べています。ビデオ『[Aliasing and Anti-aliasing Filters](#)』では、アンチエイリアシング・フィルタを使用して、このようなエイリアシング誤差を最小限に抑える方法を説明しています。
2. このクックブックのアクティブ・フィルタは、TIの[アナログ技術者向けカリキュレータ](#)と*TI FilterPro* (クリックしてダウンロード)を使用して設計しています。このソフトウェアは、多くの用途でアクティブ・フィルタ回路の設計に使用できます。
3. 適切なシステム精度を実現するために、許容差0.1%~1%の抵抗と許容差5%以下のコンデンサを使用します。
4. 各システム専用にRC電荷バケツ回路を設計します。TI Precision Labsのビデオ『[Refining Rfilt and Cfilt Values](#)』では、RC電荷バケツを最適化する方法を説明しています。
5. *TINA-TI*シミュレーション・ソフトウェア(クリックしてダウンロード)を使用して作成した回路図やその他の図で、回路シミュレーションをモデル化します。
6. 最適なドライバ・オペアンプの選定、ADCモデルの構築とシミュレーション、RC電荷バケツ値の特定については、TI Precision Labsのビデオ・シリーズ『[Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection](#)』を参照してください。

部品選定

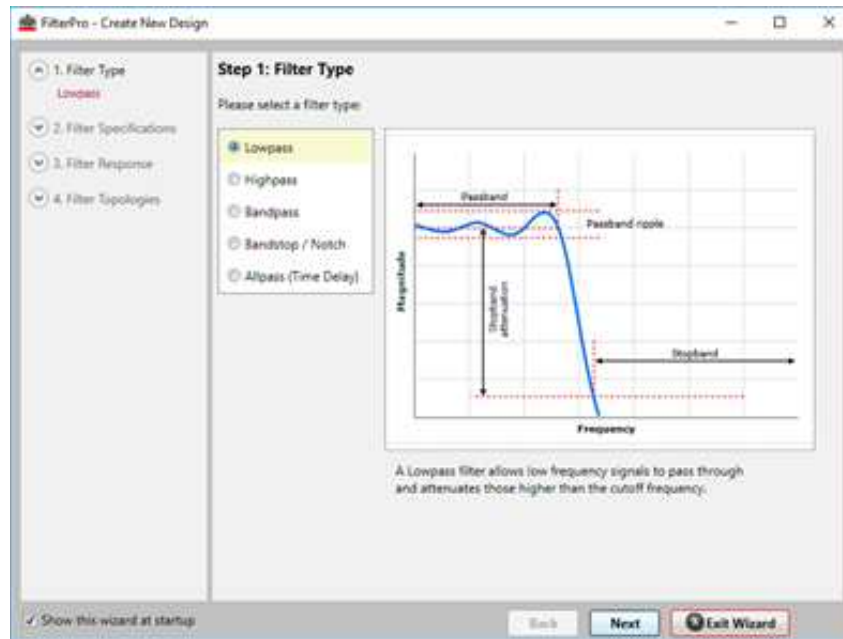
1. シングルエンドADCを選定したら、設定カットオフ周波数と設定フィルタ次数のどちらでアンチエイリアス・フィルタを設計するかを決めます。周波数を設定する場合は、以下の手順に進みます。フィルタ次数を設定する場合は、アナログ技術者向けカリキュレータの「Find Usable Frequency Range」タブを使用します。どちらの方法でもアナログ技術者向けカリキュレータのツールを使用します。
2. *Anti-Alias Filter Designer*のFind Filter Orderタブを使用し、Choose Filter Typeでベッセル・フィルタかバターワース・フィルタを選択します。ここでは、通過帯域での最大限の平坦性と線形位相応答を実現するためにベッセルを選択します。
3. Nyquist FrequencyにADCのサンプリング・レートの1/2の値を入力します。ADS8319のサンプリング・レートは500kspsであるため、ナイキスト周波数は250kHzとなります。
4. 設計するフィルタの希望カットオフ周波数を特定し、それをCutoff Frequencyボックスに入力します。一般的には、カットオフ周波数は希望入力周波数の10倍(1ディケード上)とします。ここでは、入力周波数が5kHzであるため、カットオフ周波数を50kHzに設定します。
5. Alias Signal Amplitude at Nyquist Frequencyフィールドに、ナイキスト周波数で1/2 LSBに減衰する最大推定エイリアス信号振幅を入力します。この数字はマイクロボルト単位から全入力電圧範囲までとなります。この低ノイズ・システムでは、最大エイリアス信号振幅は1mVppと想定されます。
6. ADCのFull Scale Rangeは通常、Vrefに相当するため、このシステムでは5Vに設定します。ADS8319の分解能は16ビットであるため、これをNumber of Bitsに入力します。
7. OKをクリックすると、カリキュレータの右側に結果が表示され、これを用いて必要なアンチエイリアス・フィルタを設計します。



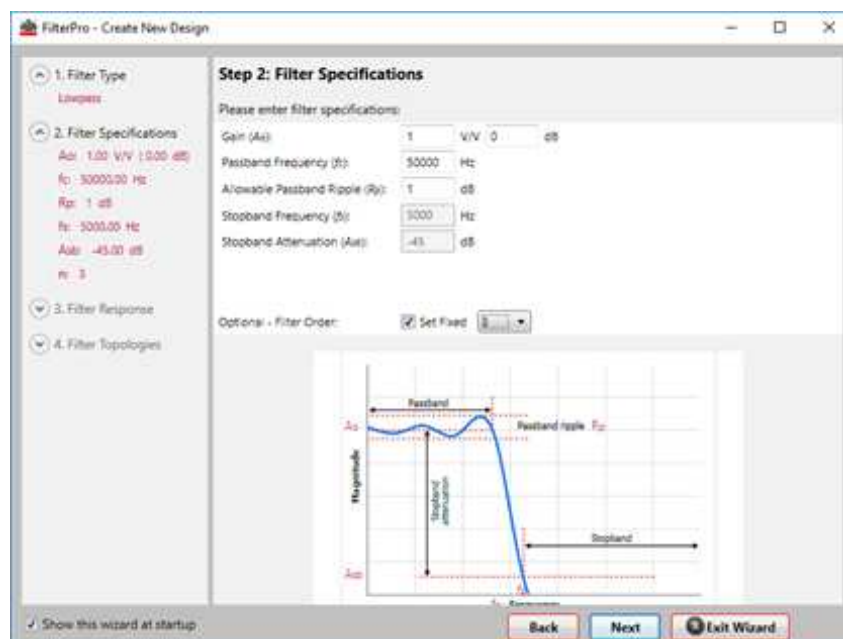
結果のフィルタ仕様により、これらの数字をTI FilterProに入力して、ローパス・アンチエイリアス・フィルタを設計できます。このクックブックの回路の仕様は、 $f_{\text{nyquist}} = 250\text{k}$ 、 $f_c = 50\text{k}$ 、 $V_{\text{alias}} = 1\text{mV}$ 、FSR = 5V、Nビット = 16であるため、設計手法1のベッセルの例を用いて続行します。

TI FilterProを起動すると、設計するフィルタの仕様を尋ねてきます。最終画面の後、アクティブ・フィルタ回路が表示され、これがシステムのアンチエイリアス・フィルタとなります。FilterProを使用する手順については、以下のスクリーンショットを参照してください。

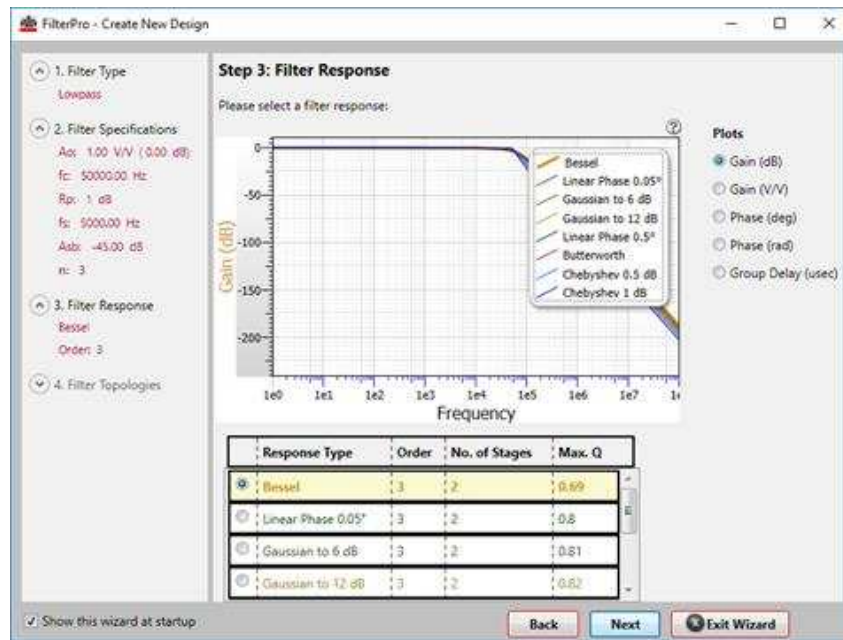
手順1: アンチエイリアス・フィルタはローパス・フィルタであるため、**Lowpass**を選択します。



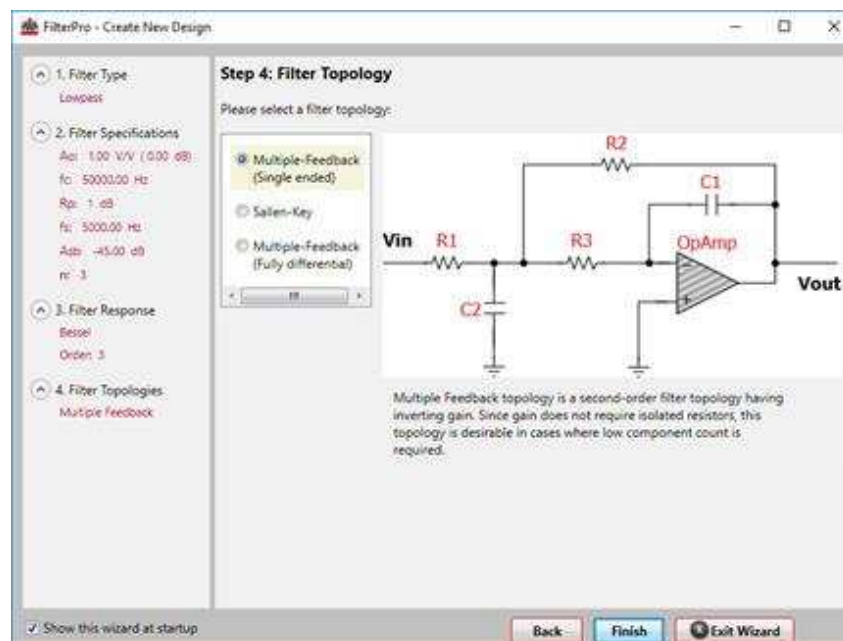
手順2: アナログ技術者向けカリキュレータから**Passband Frequency (f_p)**と**Filter Order**の値を入力します。パラメータの計算結果と一致するように、フィルタ次数の**Set Fixed**オプションを選択する必要があります。



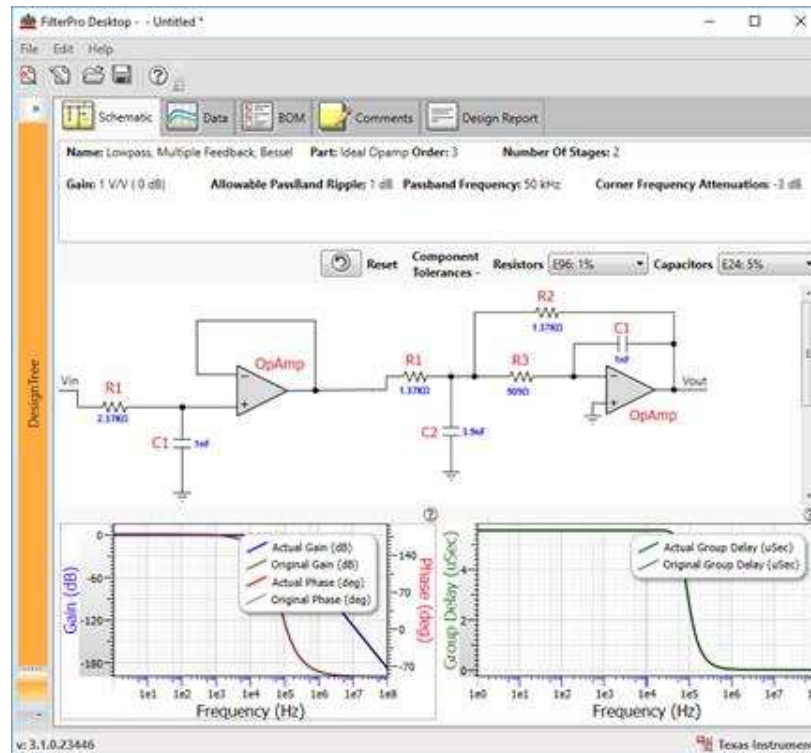
手順3: 計算と一致するフィルタ・タイプを選択します。この例では、通過帯域での最大限の平坦性と線形位相応答を実現するために **Bessel** を選択しています。



手順4: フィルタ減衰量はオペアンプの帯域幅によって制限されないため、多重帰還型を選択します。この方式には、信号が反転することと入力インピーダンスが低いという欠点があります。 **Sallen-Key** は非反転型で高入力インピーダンスであるため、こちらを選択することもできますが、高い周波数では、オペアンプの帯域制限によりフィルタ減衰量が収束するか、増大する場合があります。



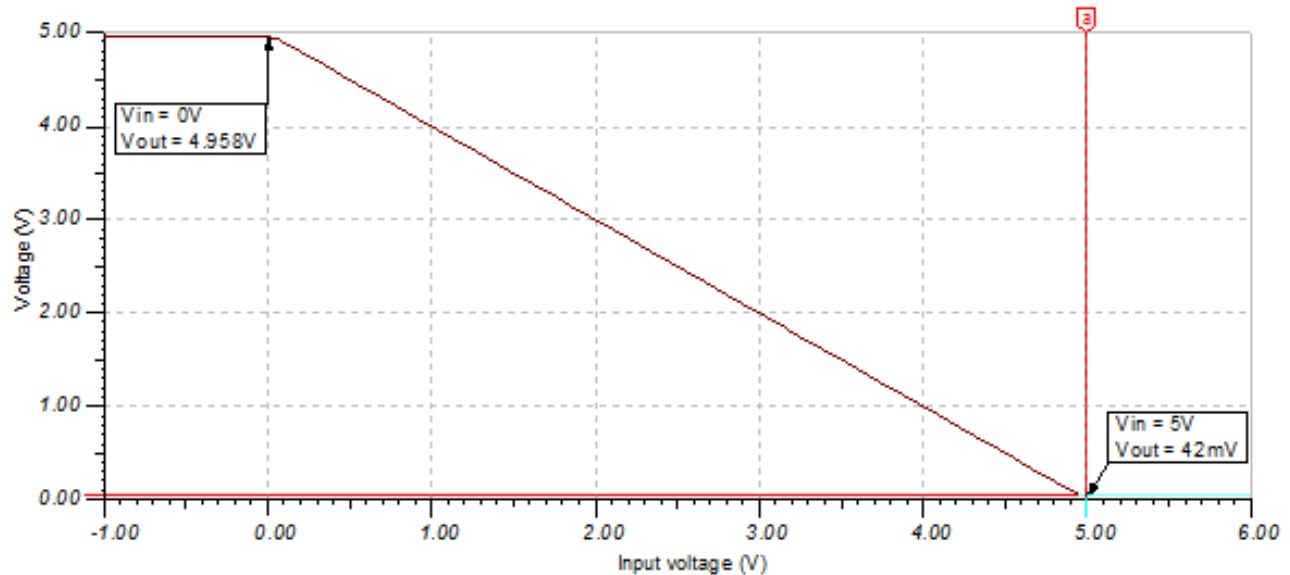
*Finish*をクリックすると、フィルタ回路図が結果のフィルタ性能仕様とともに表示されます。部品許容差は、右側のドロップダウン・メニューを使用して調整できます。ここでは、実用性を考えて1%の抵抗と5%のコンデンサを選択しています。部品の値は、数字をクリックして新しい値を入力することにより変更可能です。



過去に作成した回路をTINA-TIでシミュレーション用に設計できます。性能特性については以下に記載します。

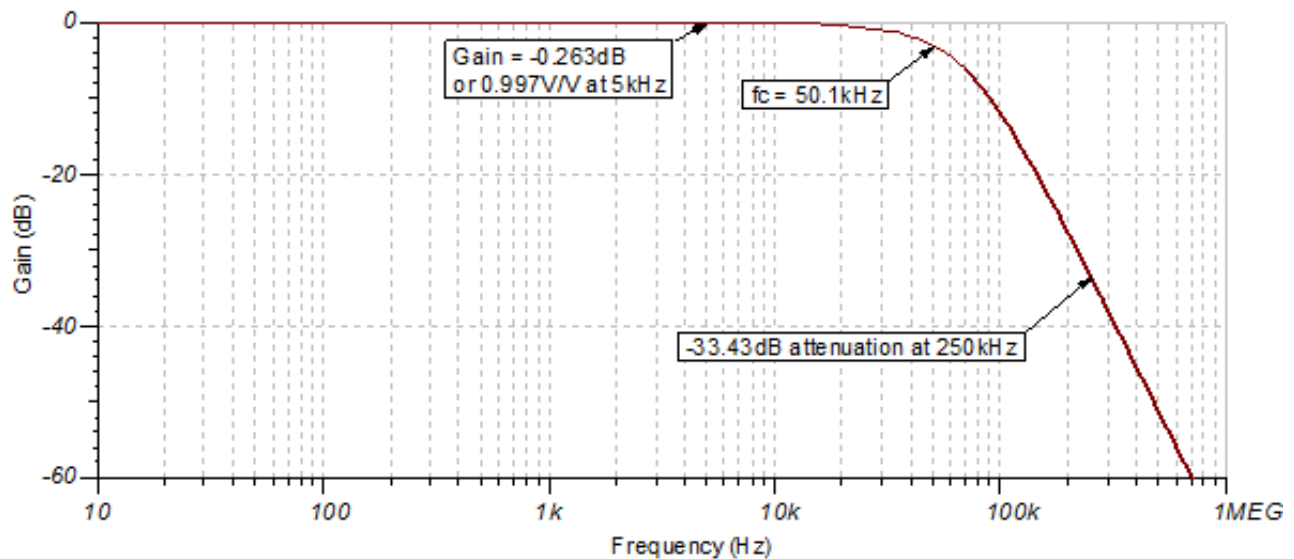
DC伝達特性

以下のグラフは、0V~5Vのフィルタ入力に対する線形出力応答を示しています。フィルタ・アンプが反転構成であるため、出力電圧は $V_{out} = -V_{in} + 5V$ の関数となります。



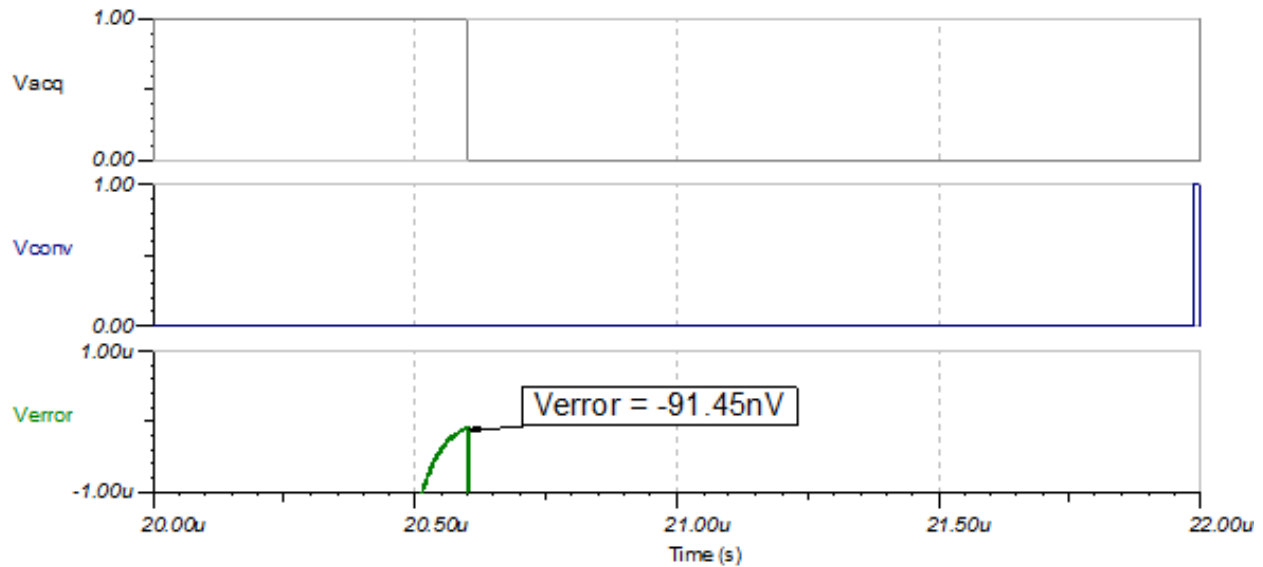
AC伝達特性

帯域幅のシミュレーション結果は50.1kHzで、アナログ技術者向けカリキュレータで入力した希望値を約100Hz超えています。ナイキスト周波数では、信号が-33.43dB減衰され、これにより入力エイリアス信号の振幅は21.3μVまで小さくなります。この件の詳細については、TI Precision Labs『Op Amps: Bandwidth 1』を参照してください。



ADC過渡入力電圧セトリング・シミュレーション

以下のシミュレーションは、データ収集周期を通じて5kHzで5VppのAC信号にセトリングするADS8319を示しています。このようなシミュレーションは、RC電荷バケツの部品が適正に選定されていることを示します。この件の詳しい理論については、TI Precision Labsのビデオ『[Refine the Rfilt and Cfilt Values](#)』を参照してください。

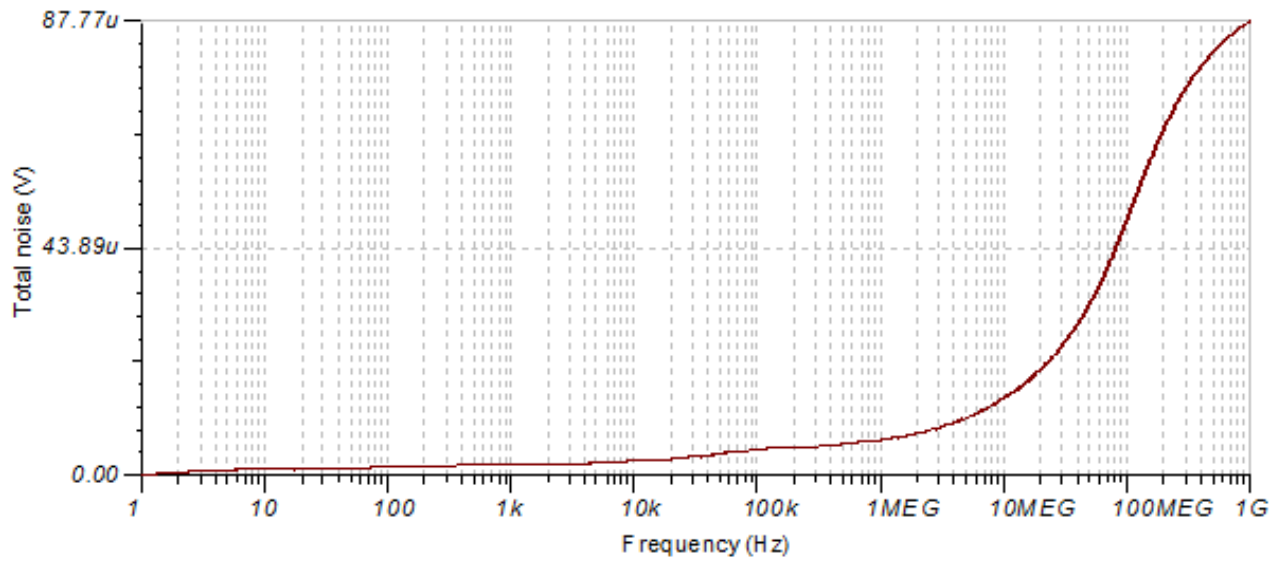


ノイズ・シミュレーション

ここでは簡易なノイズ計算を行って概算します。この計算では、アンチエイリアス・フィルタのノイズは50kHzを超える周波数では減衰されるため無視します。

$$E_{nOPA365} = e_{nOPA365} \cdot G_{OPA} \sqrt{K_n \cdot f_c} = (7.2 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \cdot 1\text{V}/\text{V} \sqrt{1.57 \cdot 50\text{MHz}} = 63.8 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$e_{nOPA365}$ の値はデータシートのノイズ曲線から取得します。ノイズの計算結果とシミュレーション結果はよく一致しています。ノイズのシミュレーション結果と計算結果との不一致の一部は、OPA365モデルの帯域幅による不正確さに起因するものです。ノイズ計算の詳しい理論については、TI Precision Labsのビデオ『[Calculating the Total Noise for ADC Systems](#)』を参照してください。



使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ADS8319	16ビット、500kSPS、シリアル・インターフェイス、マイクロパワー、小型、SAR ADC	www.ti.com/product/ads8319	www.ti.com/adcs
OPA365	50MHz、ゼロ・クロスオーバー、低歪み、高CMRR、RRI/O、単一電源オペアンプ	www.ti.com/product/opa365	www.ti.com/opamp

設計の参照資料

TIの総合的な回路ライブラリについては、「[アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)」を参照してください。

主要なファイルへのリンク

この設計のソース・ファイル – <http://www.ti.com/lit/zip/sbac197>

改訂履歴

改訂内容	日付	変更
A	2019年3月	タイトルを大文字から普通の表記にし、タイトルのロールを「データ・コンバータ」に変更。回路クックブックのランディング・ページへのリンクを追加。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated