

Analog Engineer's Circuit

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

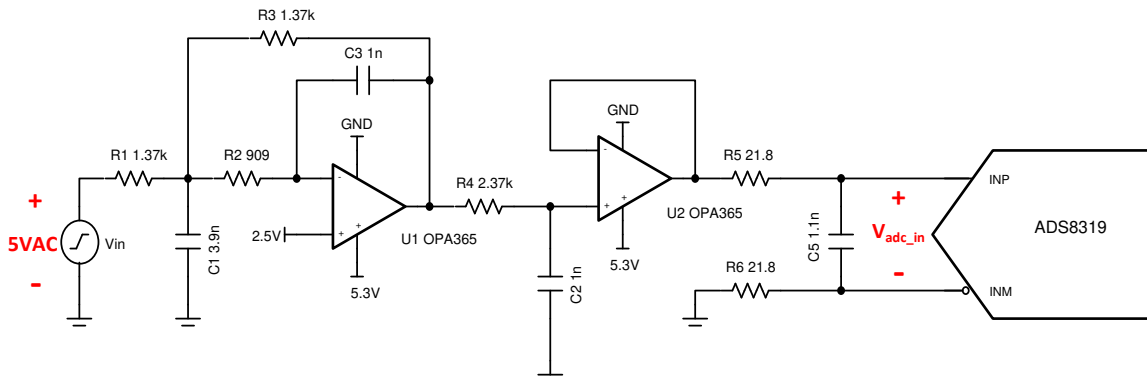
入力	ADC 入力	デジタル出力 ADS8319
$V_{in} \text{ Min} = 0.1\text{V}$	$V_{\text{adc_in}} = 4.9\text{V}$	FAE1 _H または 64225 ₁₀
$V_{in} \text{ Max} = V_{\text{REF}} = 4.9\text{V}$	$V_{\text{adc_in}} = 0.1\text{V}$	051F _H または 1311 ₁₀

電源

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

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、オシロスコープとデジタイザ、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

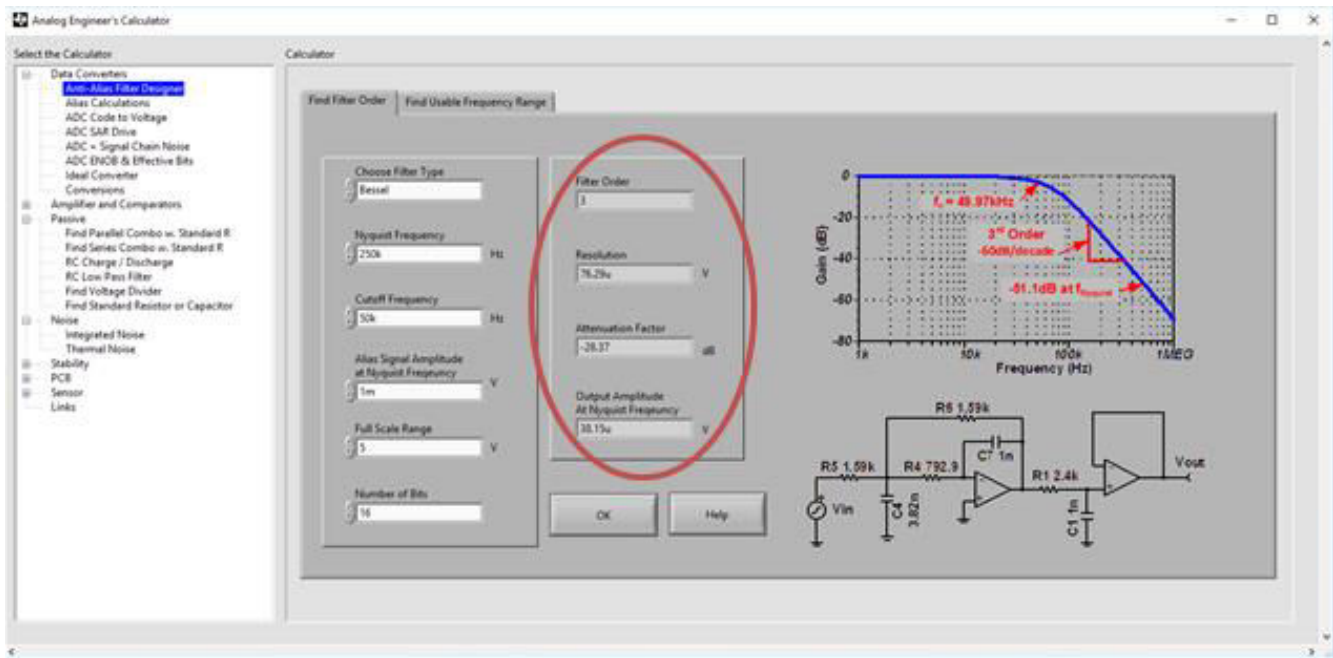
仕様	計算結果/目標	シミュレーション結果
ナイキストで 1mV のエイリアス信号を 1/2 LSB に減衰 $V_{in_Nyquist} = 1\text{mV}$ (250kHz 時)	$V_{\text{out_Nyquist}} \leq 1/2 \text{ LSB}$ $1/2 \text{ LSB} = 38.14\mu\text{V}$ (250kHz 時)	$V_{\text{out_Nyquist}} = 21\mu\text{V}$ 減衰量 = -33.43dB
ADC 過渡入力電圧セトリング	< 0.5 LSB または 38.15μV	91.5nV
ノイズ	78.9μV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

デザイン ノート

1. TI プレシジョン ラボでは、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](#) 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 プレシジョン ラボのビデオ『[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 プレシジョン ラボのビデオ 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

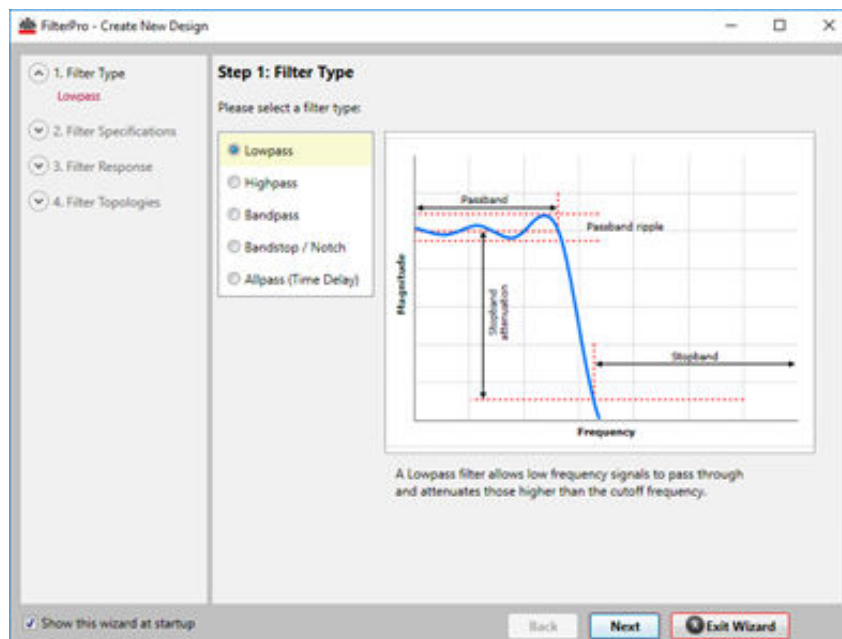
1. シングルエンド ADC を選定したら、設定カットオフ周波数と設定フィルタ次数のどちらでアンチエイリアス フィルタを設計するかを決めます。周波数を設定する場合は、以下の手順に進みます。フィルタ次数を設定する場合は、[アナログ技術者向けカリキュレータ](#)の「[Find Usable Frequency Range](#)」タブを使用します。どちらの方法でも[アナログ技術者向けカリキュレータ](#)のツールを使用します。
2. [Anti-Alias Filter Designer](#) の [Find Filter Order](#) タブを使用し、[Choose Filter Type](#) 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 デイケード上)** 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。



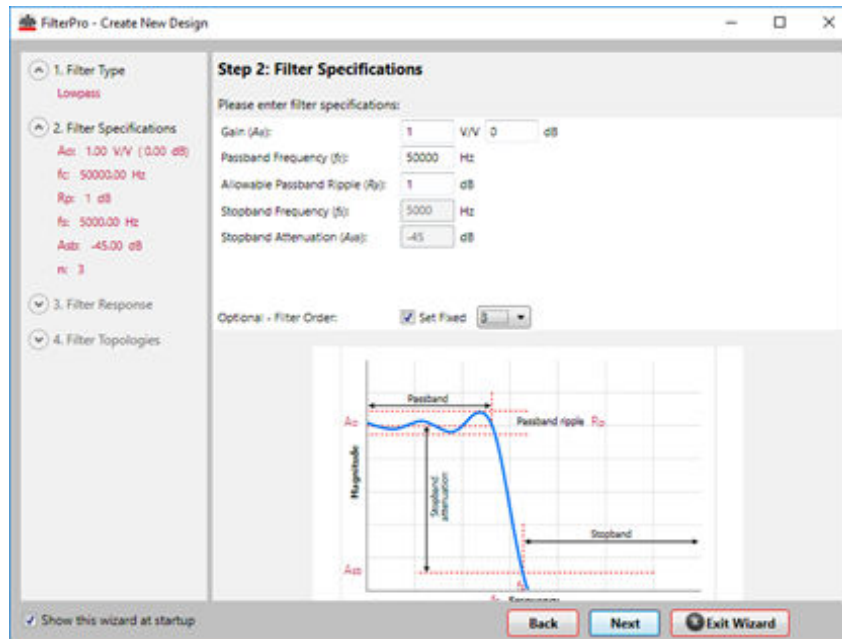
結果のフィルタ仕様により、これらの数字を **TI FilterPro** に入力して、ローパス アンチエイリアスフィルタを設計できます。このクックブックの回路の仕様は、 $f_{nyquist} = 250k$ 、 $f_c = 50k$ 、 $V_{alias} = 1mV$ 、 $FSR = 5V$ 、 N ビット = 16 であるため、設計手法 1 のベッセルの例を用いて続行します。

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。

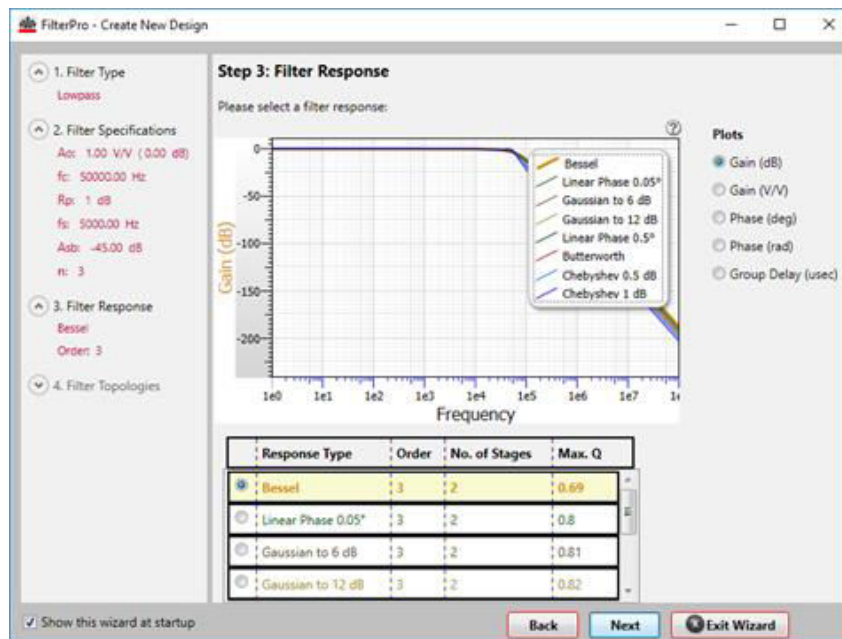
手順 1: アンチエイリアスフィルタはローパスフィルタであるため、**Lowpass** を選択します。



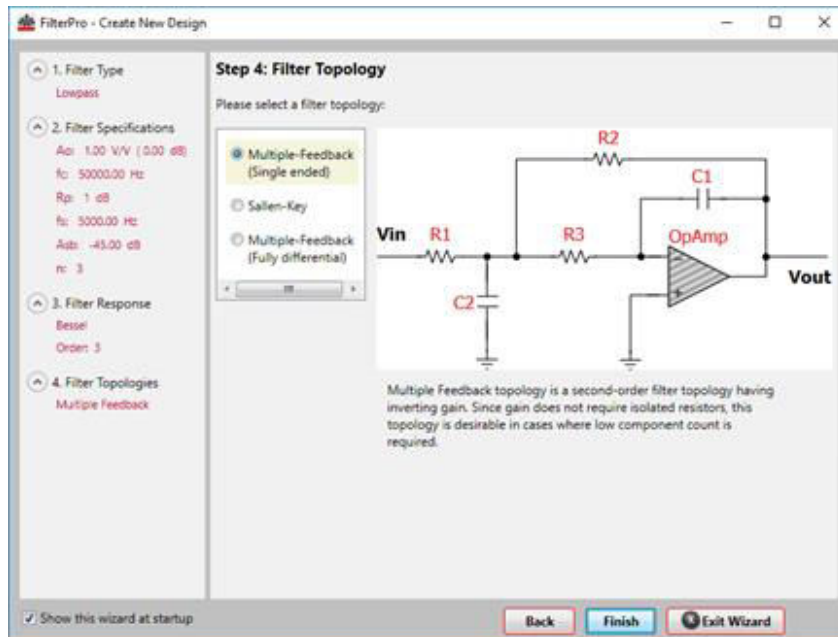
手順 2: アナログ技術者向けカリキュレータから **Passband Frequency (f_c)** と **Filter Order** の値を入力します。パラメータの計算結果と一致するように、フィルタ次数の **Set Fixed** オプションを選択する必要があります。



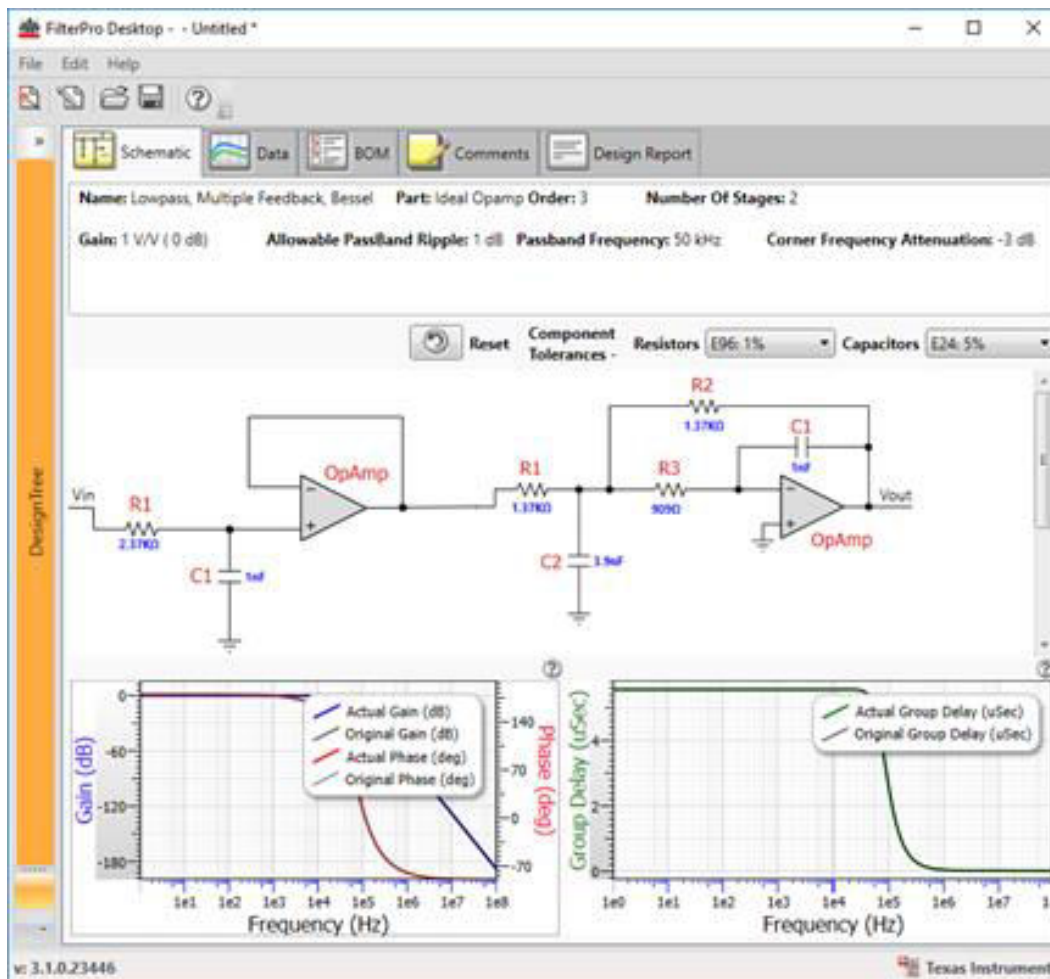
手順 3: 計算と一致するフィルタタイプを選択します。この例では、通過帯域での最大限の平坦性と線形位相応答を実現するために **Bessel** を選択しています。



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。



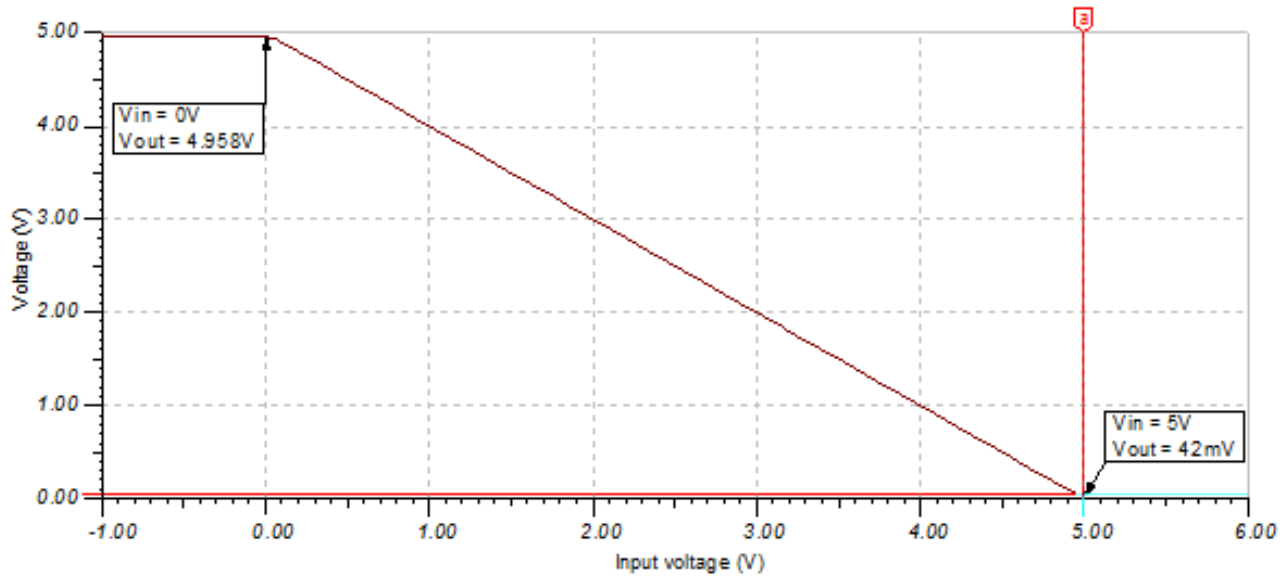
Finish をクリックすると、フィルタ回路図が結果のフィルタ性能仕様とともに表示されます。部品許容差は、右側のドロップダウンメニューを使用して調整できます。ここでは、実用性を考えて 1%の抵抗と 5%のコンデンサを選択しています。部品の値は、数字をクリックして新しい値を入力することにより変更可能です。



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。

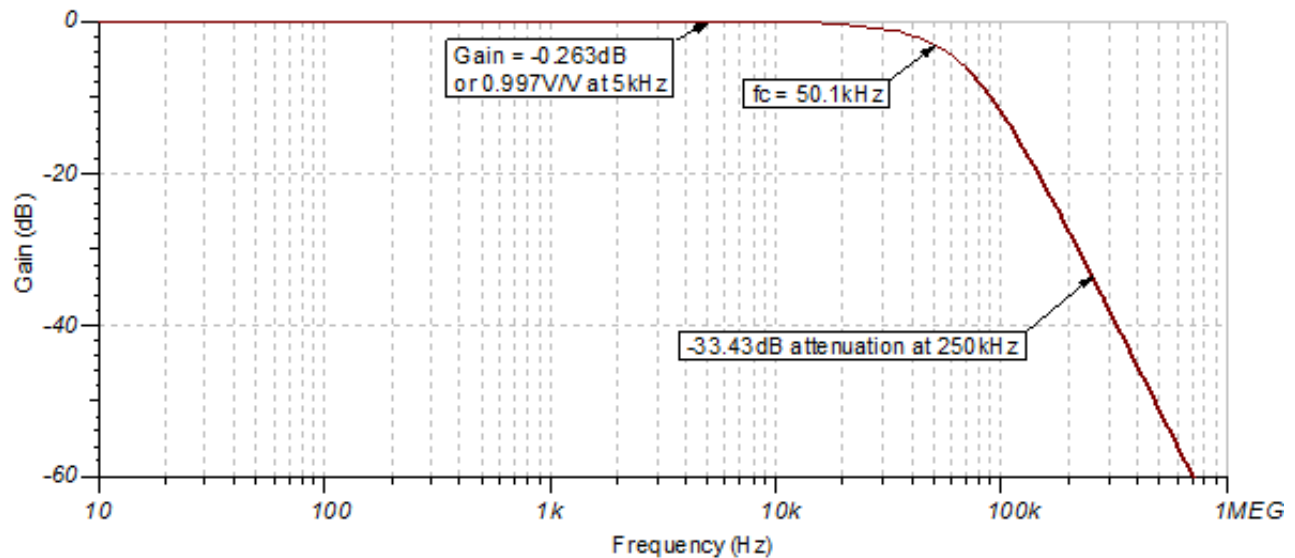
DC 伝達特性

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。



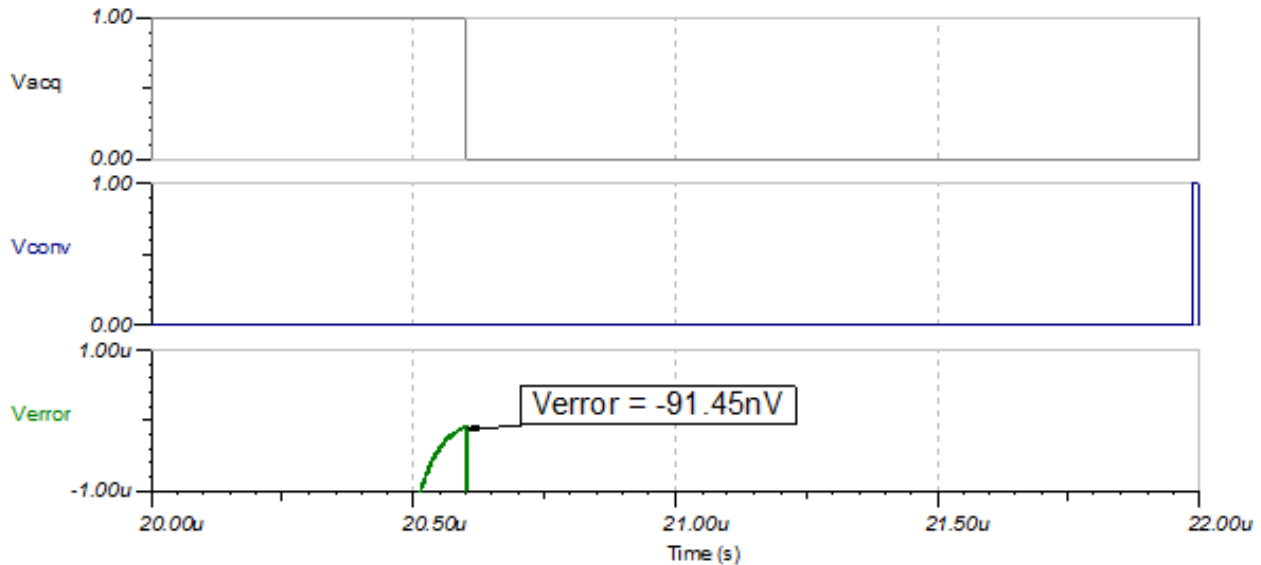
AC 伝達特性

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 $21.3\mu V$ 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』(英語) を参照してください。



ADC 過渡入力電圧セリング 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 電荷パ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 プレシジョン ラボのビデオ『[Refine the Rfilt and Cfilt Values](#)』を参照してください。

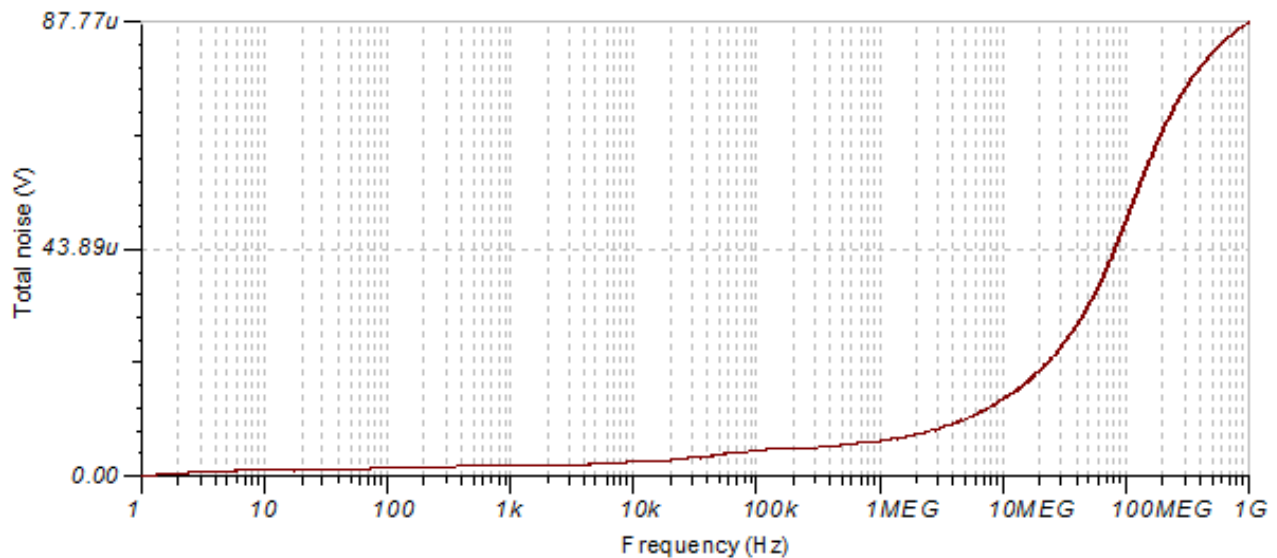


ノイズ シミュレーション

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 プレシジョン ラボのビデオ『[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	SPI 搭載、高精度、16ビット、SAR A/D コンバータ (ADC)	A/D コンバータ (ADC)
OPA365	50MHz、ゼロクロスオーバー、低歪み、高 CMRR、RRIO、単一電源オペアンプ	2.2V、50MHz、低ノイズ、単一電源、レールツーレール オペアンプ	オペアンプ

主要なファイルへのリンク

テキサス・インスツルメンツ、[SBAC197 ソース ファイル](#)、サポート ソフトウェア

改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (March 2019) to Revision B (September 2024) Page

- 文書全体にわたって表、図、相互参照の書式を更新..... 1

Changes from Revision * (March 2018) to Revision A (March 2019) Page

- 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。..... 1

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

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 の販売条件](#)、または [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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated