

Analog Engineer's Circuit

SAR ADC 向け、入力インピーダンスの大きい真の差動形式アナログフロントエンドアッテネータ回路



Luis Chioye

入力電圧(OPA197 バッファ)	THS4551 出力、ADC 入力	ADS8912B デジタル出力
VinP = -12V、VinN = +12V、VinMin (Dif) = -24V	VoutDif = -4.00V、VoutP = 0.25V、VoutN = 4.25V	238E3 _H -116509 ₁₀
VinP = +12V、VinN = -12V、VinMax (Dif) = +24V	VoutDif = +4.0V、VoutP = 4.25V、VoutN = 0.25V	1C71C _H +116508 ₁₀

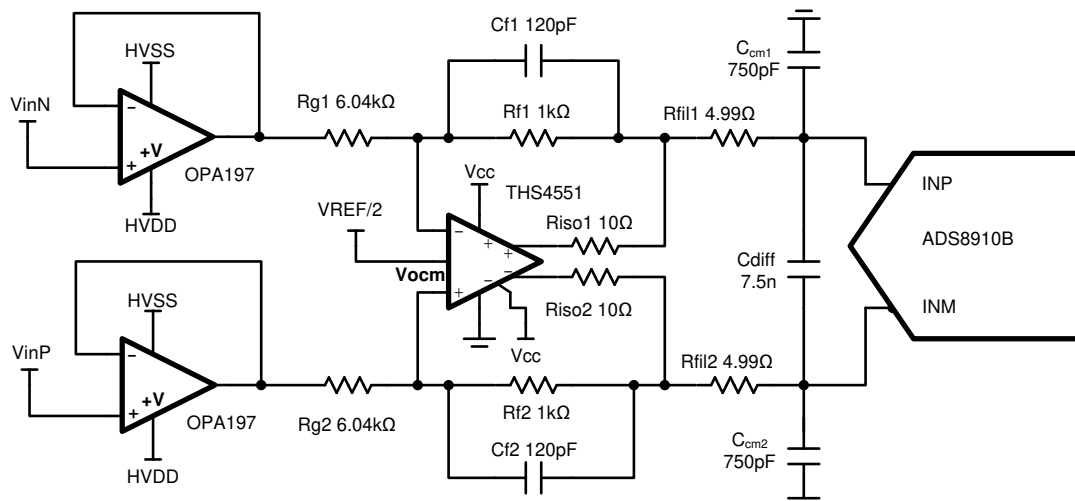
電源および基準電圧

HVDD	HVSS	Vcc	Vee	Vref	Vcm
+15V	-15V	+5.0V	0V	+4.5 V	2.5V

設計の説明

このアナログフロントエンド(AFE)+ SAR ADC データ収集ソリューションは、 $\pm 24V$ の電圧範囲(または絶対入力電圧範囲 $VinP = \pm 12V$ 、 $VinN = \pm 12V$)で真の差動電圧信号を測定でき、高入力インピーダンスを実現し、最高 500ksps のデータレートと 18 ビットの分解能に対応します。入力バイアス電流が小さい高精度の 36V レール ツー レール アンプにより、完全差動アンプ(FDA)の入力をバッファできます。FDA は信号を減衰して SAR ADC の差動電圧/同相電圧範囲にシフトします。「部品選定」の値を調整して、さまざまな入力電圧レベルを実現できます。

この回路は、パラメトリック測定ユニット (PMU)、高精度マルチファンクション入力および出力 DAQ、およびプログラマブルオートメーションコントローラ (PAC)、ディスクリート制御システム (DCS)、プログラマブル ロジックコントローラ (PLC) アプリケーションで使用するアナログ入力モジュールでの真の差動電圧の正確な測定に使用します。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

仕様

仕様	目標	計算結果	シミュレーション結果
ADC 過渡入力電圧セトリング (500ksps)	<< 1 LSB, << 34 μ V	該当なし	0.5 μ V
ADC 入力でのノイズ	10 μ V _{RMS}	9.28 μ V _{RMS}	9.76 μ V _{RMS}
帯域幅	1.25MHz	1.25MHz	1.1MHz

デザイン ノート

- 線形動作に対応する同相、出力振幅の仕様に基づいて、オペアンプ(バッファ)の線形範囲を特定します。これについては「部品選定」で説明します。入力バイアス電流の小さいアンプを選定します。
- ADC の全入力電圧範囲と同相電圧範囲の仕様を特定します。これについては「部品選定」で述べます。
- 入力信号振幅、ADC の全入力電圧範囲、FDA の出力振幅の仕様に基づいて、FDA に必要な減衰量を特定します。これについては「部品選定」で説明します。
- 歪みを最小限に抑えるために、COG コンデンサを選定します。
- 適切な精度と低ゲインドリフトを実現し、歪みを最小限に抑えるために、0.1% 20ppm/°C以下の薄膜抵抗を使用します。
- 『[Understanding and Calibrating the Offset and Gain for ADC Systems](#)』で、誤差解析の方法を説明しています。ゲイン、オフセット、ドリフト、およびノイズの誤差を最小限に抑える方法については、リンク先をご覧ください。
- 『[Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection](#)』(英語) で、電荷バケツ回路 R_{filt} と C_{filt} の選定方法を説明しています。これらの部品の値はアンプの帯域幅、データコンバータのサンプリングレート、データコンバータの設計に依存します。ここに示す値は、この例のアンプ、ゲイン設定、データコンバータで適切なセトリングと AC 性能を実現します。設計を変更する場合は、別の RC フィルタを選定する必要があります。最高水準のセトリングと AC 性能を実現する RC フィルタの選定方法については、「プレジジョン ラボ」のビデオを参照してください。

部品選定とバッファ アンプおよび FDA の設定

- 線形動作に対応するバッファ アンプの入力電圧範囲を特定します。
 Select Supplies (V₋) = -15V, (V₊) = +15V to allow VinP = \pm 12V VinN = \pm 12V range
 (V₋) - 0.1V < V_{cm} < (V₊) - 3V from OPA197 common-mode voltage specification
 -15.1V < V_{cm} < +12V allows required \pm 12V input voltage range
- 線形動作に対応するバッファ アンプの出力電圧範囲を特定します。
 (V₋) + 0.6V < V_{out} < (V₊) - 0.6V from OPA197 Aol specification for linear operation
 -14.4V < V_{out} < 14.4V allows required \pm 12V output voltage range
- ADC の全入力電圧範囲を求めます。この回路では、V_{REF} = 4.5V です。
 ADC_{Full-Scale Range} = \pm V_{REF} = \pm 4.5V from ADS8910B data sheet
- 必要な ADC 同相電圧を特定します。

$$V_{CM} = \frac{+V_{REF}}{2} = +2.25V$$
 from ADS8910B data sheet, therefore set FDA VCOM = 2.25V
- 線形動作に対応する FDA の絶対出力電圧範囲を特定します。
 0.23 < V_{out} < 4.77V from THS4551 output low / high specification for linear operation
 However, the positive range is limited by ADC_{Full-Scale Range} = \pm 4.5V, therefore
 0.23V < V_{out} < 4.5V where V_{outMin} = 0.23V, V_{outMax} = 4.5V
- 線形動作に対応する FDA の差動出力電圧範囲を特定します。この回路の一般出力電圧式は次のとおりです。

$$V_{\text{outMin}} = \frac{V_{\text{outDifMin}}}{2} + V_{\text{cm}} \text{ and } V_{\text{outMax}} = \frac{V_{\text{outDifMax}}}{2} + V_{\text{cm}}$$

Re - arrange the equations and solve for $V_{\text{outDifMin}}$ and $V_{\text{outDifMax}}$.

Find maximum differential output voltage range based on worst case :

$$V_{\text{outDifMax}} = 2 \times V_{\text{outMax}} - 2 \times V_{\text{cm}} = 2 \times (4.5\text{V}) - 2 \times (2.25\text{V}) = 4.5\text{V}$$

$$V_{\text{outDifMin}} = 2 \times V_{\text{outMin}} - 2 \times V_{\text{cm}} = 2 \times (0.23\text{V}) - 2 \times (2.5\text{V}) = -4.04\text{V}$$

Based on combined worst case, choose $V_{\text{outDifMin}} = -4.04\text{V}$ and $V_{\text{outDifMax}} = +4.04\text{V}$

7. FDA の差動入力電圧範囲を求めます。

$$V_{\text{inDifMax}} = V_{\text{inPmax}} - V_{\text{inNmin}} = +12\text{V} - (-12\text{V}) = +24\text{V}$$

$$V_{\text{inDifMin}} = V_{\text{inPmin}} - V_{\text{inNmax}} = -12\text{V} - (+12\text{V}) = -24\text{V}$$

8. FDA に必要な減衰率を求めます。

$$\text{Gain}_{\text{FDA}} = \frac{V_{\text{outDifMax}} - V_{\text{outDifMin}}}{V_{\text{inDifMax}} - V_{\text{inDifMin}}} = \frac{(+4.04\text{V}) - (-4.04\text{V})}{(+24\text{V}) - (-24\text{V})} = 0.166 \frac{\text{V}}{\text{V}} \approx \frac{1}{6} \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

9. この減衰率を設定するための標準抵抗値を求めます。

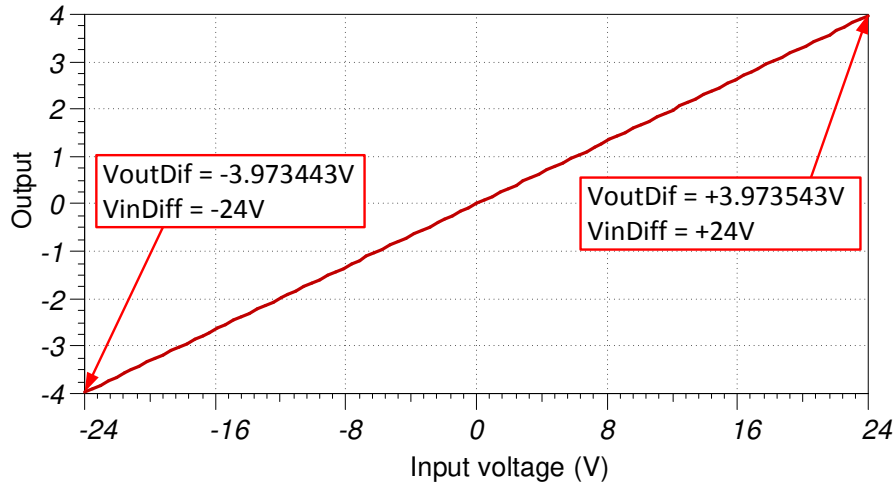
$$\text{Gain}_{\text{FDA}} = \frac{R_f}{R_g} = \frac{1}{6} \text{V/V} \Rightarrow \frac{R_g}{R_f} = \frac{1.00\text{k}\Omega}{6.04\text{k}\Omega} = \frac{1}{6.04} \text{V/V}$$

10. カットオフ周波数 f_c 、 $R_{f\text{INA}} = 1\text{k}\Omega$ での C_f を求めます。

$$C_f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R_{f\text{INA}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (1.25\text{MHz}) \cdot (1\text{k}\Omega)} = 127\text{pF} \text{ or } 120\text{pF standard value}$$

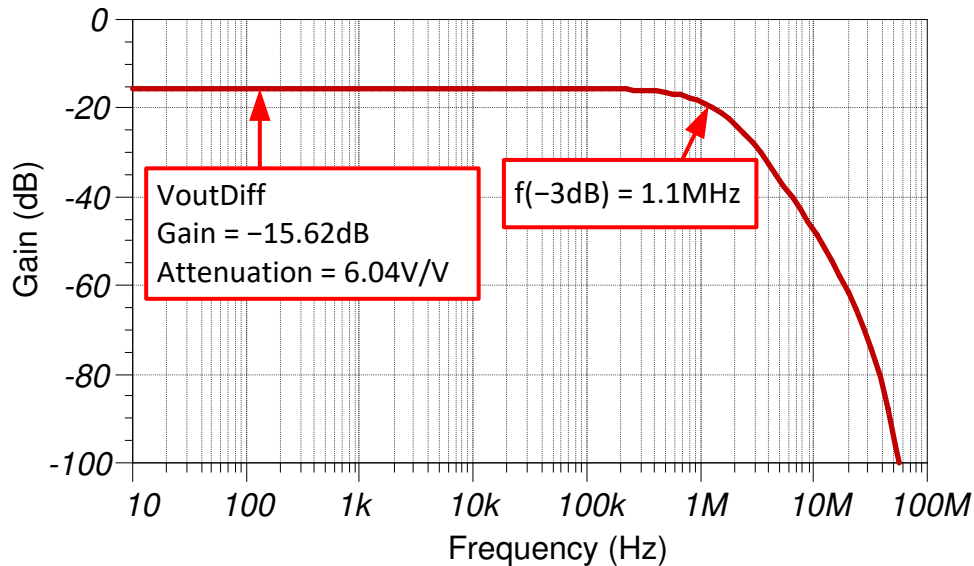
DC 伝達特性

以下のグラフは、+24V~-24V の差動入力に対する線形出力応答を示しています。



AC 伝達特性

帯域幅のシミュレーション結果は約 1.1MHz で、ゲインは-15.62dB であることから、線形ゲインは約 0.166V/V (減衰率 6.04V/V)となります。



ノイズ シミュレーション

Simplified Noise calculation for rough estimate :

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_f \cdot C_f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (1\text{k}\Omega) \cdot (120\text{pF})} = 1.33\text{MHz}$$

Noise contribution of OPA197 buffer referred to ADC input

$$E_{\text{nOPA197}} = e_{\text{nOPA197}} \cdot \sqrt{K_n \cdot f_c} \cdot \text{Gain}_{\text{FDA}}$$

$$E_{\text{nOPA197}} = (5.5\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}) \cdot \sqrt{1.57 \cdot 1.33\text{MHz}} \cdot 0.166\text{V} / \text{V} = 1.319\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

Noise of THS4551 FDA referred to ADC input

$$\text{Noise gain : NG} = 1 + R_f / R_g = 1 + \frac{1.00\text{k}\Omega}{6.04\text{k}\Omega} = 1.166\text{V} / \text{V}$$

$$e_{\text{noFDA}} = \sqrt{(e_{\text{nFDA}} \cdot \text{NG})^2 + 2(i_{\text{nFDA}} \cdot R_f)^2 + 2(4\text{kTR}_f \cdot \text{NG})}$$

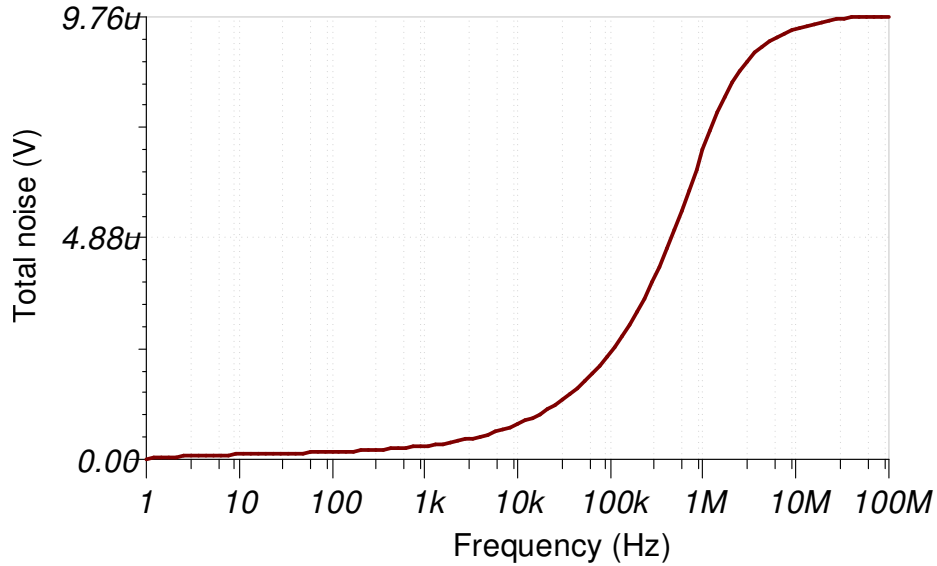
$$e_{\text{noFDA}} = \sqrt{(3.4\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}} \cdot 1.166\text{V} / \text{V})^2 + 2(0.5\text{pA} / \sqrt{\text{Hz}} \cdot 1\text{k}\Omega)^2 + 2(16.56 \cdot 10^{-18} \cdot 1.166\text{V} / \text{V})}$$

$$e_{\text{noFDA}} = 7.4\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}$$

$$E_{\text{nFDA}} = e_{\text{noFDA}} \cdot \sqrt{K_n \cdot f_c} = (7.40\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}) \cdot \sqrt{1.57 \cdot 1.33\text{MHz}} = 9.28\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

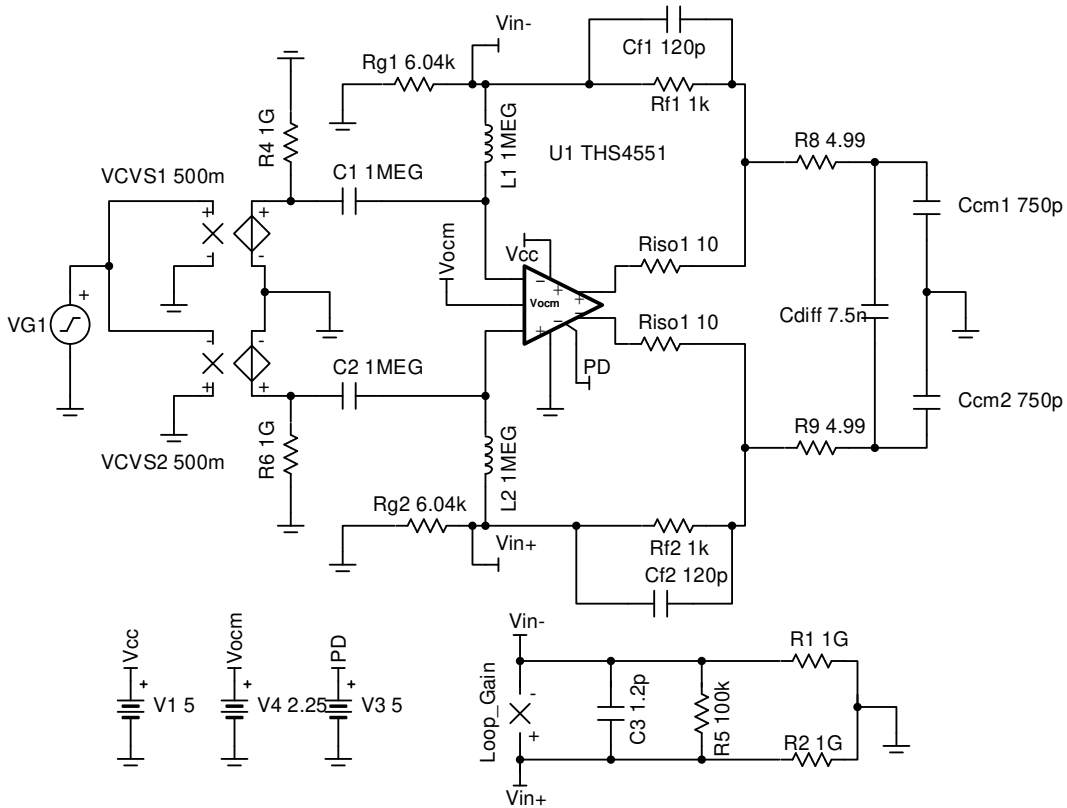
$$\text{Total Noise} = \sqrt{E_{\text{nFDA}}^2 + E_{\text{nOPA197}}^2} = \sqrt{(9.28\mu\text{V}_{\text{RMS}})^2 + (1.32\mu\text{V}_{\text{RMS}})^2} = 9.37\mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

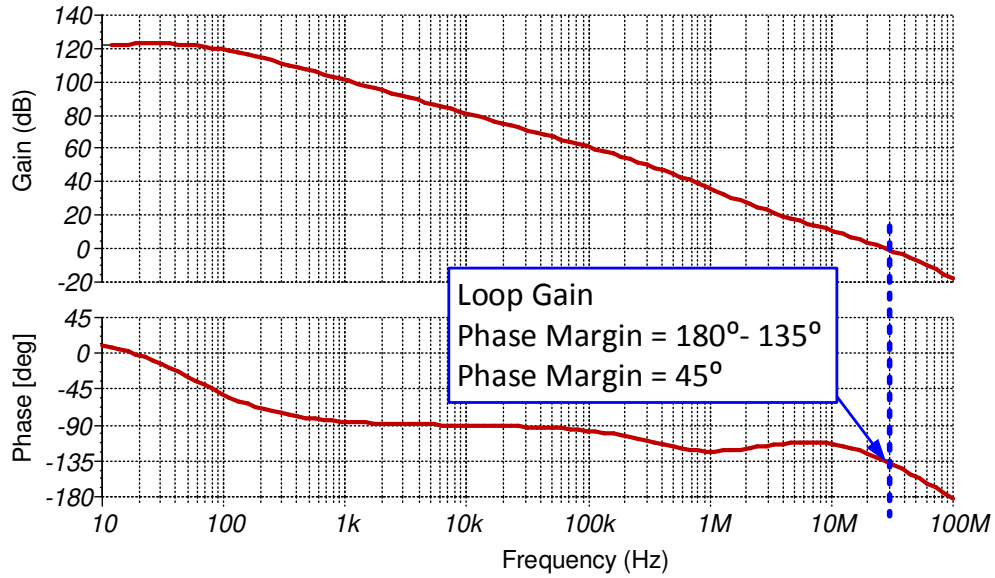
計算結果とシミュレーション結果はよく一致しています。この件の詳しい理論については、『[Calculating the Total Noise for ADC Systems](#)』を参照してください。



安定性シミュレーション

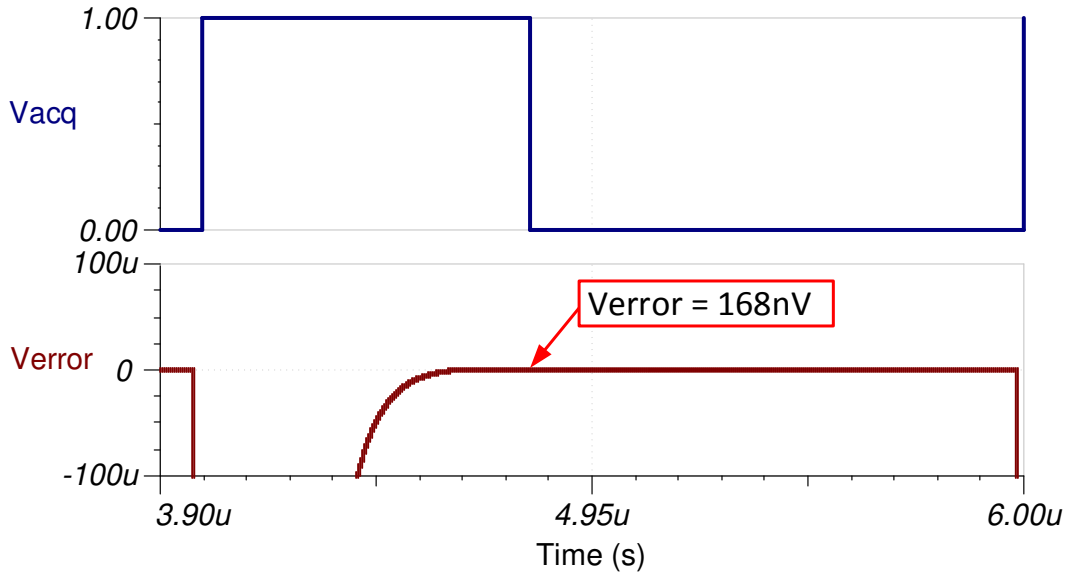
以下の回路を TINA で使用し、TINA の AC 伝達解析を用いてループゲインを測定し、位相マージンを特定します。帰還ループ内に抵抗 $R_{ISO} = 10\Omega$ を使用して、位相マージンを増やします。この回路には 45° の位相マージンがあります。この件の詳しい理論については、『TI Precision Labs - Op Amps: Stability 4』(英語) を参照してください。





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、+ 12V および -12V に設定した OPA197 バッファ入力による 24V DC 差動入力信号へのセトリングを示しています。このようなシミュレーションは、サンプル/ホールド キックバック回路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、『Rfilt 値と Cfilt 値をリファイン』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
ADS8912B ⁽¹⁾	分解能: 18 ビット、サンプルレート: 500ksps、基準電圧バッファ搭載、完全差動入力、Vref 入力電圧範囲: 2.5V ~ 5V	VREF バッファ、LDO、強化 SPI インターフェイス搭載、18 ビット、1MSPS、1 チャンネル SAR ADC	A/D コンバータ (ADC)
THS4551	FDA、150MHz の帯域幅、レール ツー レール出力、VosDriftMax = 1.8 μ V/°C、e _n = 3.3nV/rtHz	低ノイズ、高精度、150MHz 完全差動アンプ	オペアンプ
OPA197	36V、帯域幅: 10MHz、レール ツー レール入出力、VosMax = \pm 250 μ V、VosDriftMax = \pm 2.5 μ V/°C、バイアス電流 = \pm 5pA	シングル、36V、高精度、レール ツー レール入出力、低オフセット電圧オペアンプ	オペアンプ
REF5045	VREF = 4.5V、ドリフト: 3 ppm/°C、初期精度: 0.05%、ノイズ: 4 μ Vpp/V	4.5V、3μVpp/V のノイズ、3ppm/°C のドリフト高精度シリーズ電圧リファレンス	シリーズ電圧リファレンス

- (1) ADS8912B には基準電圧バッファが内蔵されているため、バッファなしで REF5045 を直接接続できます。また REF5045 は、高精度 SAR アプリケーションで必要とされる低ノイズ 低ドリフトという特長を備えています。THS4551 は SAR ADC の電圧範囲への減衰および同相レベルシフトを実現します。また、この FDA は ADC 入力サンプリングによる電荷のキックバック過渡電圧を安定化するのに十分な帯域幅を備えているため、高速かつ高精度の完全差動 SAR によく使用されています。OPA197 は 36V オペアンプで、超高入力インピーダンスのフロントエンドを実現して、FDA 入力をバッファリングします。

主要なファイルへのリンク

テキサス・インスツルメンツ、『[SBAC183 ソース ファイル](#)』、ソフトウェア サポート

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 * (February 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」に変更し、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