

Low-Power Sensor Measurements: 3.3V、1Ksps、12 ビット、シングルエンド、デュアル電源回路



Reed Kaczmarek

設計目標

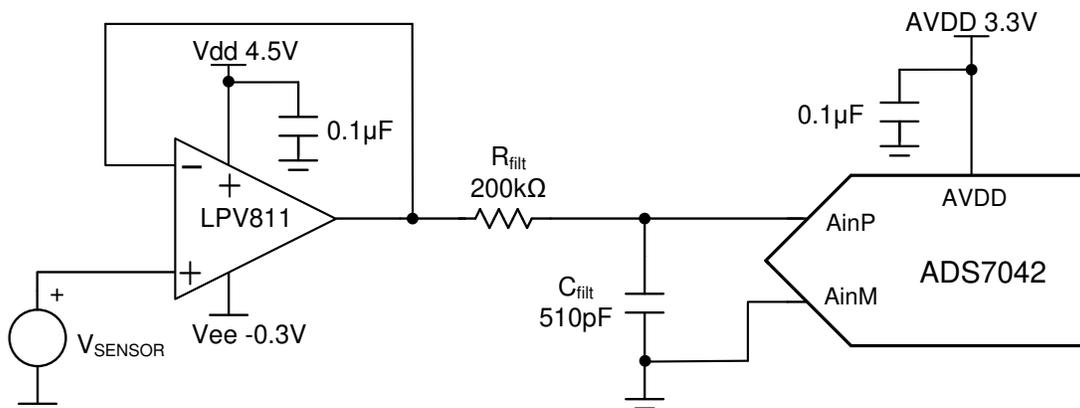
入力	ADC 入力	デジタル出力 ADS7042
$V_{inMin} = 0V$	$A_{IN_P} = 0V, A_{IN_M} = 0V$	000 _H または 0 ₁₀
$V_{inMax} = 3.3V$	$A_{IN_P} = 3.3V, A_{IN_M} = 0V$	FFF _H または 4096 ₁₀

電源

AVDD	V _{ee}	V _{dd}
3.3V	-0.3V	4.5V

設計の説明

この設計は、動作時消費電力がわずか nW 単位の SAR ADC の駆動に用いる低消費電力アンプを示しています。この設計は、センサ データ収集システム用であり、消費電力がわずか数 μW の低消費電力の信号チェーンを必要とします。この SAR ADC 設計を活用できる消費電力の制限が厳しいシステムの例として、[PIR センサ](#)、[ガス センサ](#)、[血糖モニタ](#)などがあります。「部品選定」の値を調整して、さまざまなデータスループットレート、さまざまな帯域幅のアンプを実現できます。『[低消費電力センサ測定: 3.3V、1ksps、12 ビット シングルエンド、単一電源](#)』では、負電源を接地する、この回路の簡易版を示しています。この例では $-0.3V$ 負電源を使用して、最高水準の線形入力信号範囲を達成します。低消費電力 SAR 設計のトレードオフの詳細については、『[SAR ADC パワー スケーリング](#)』を参照してください。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果	測定結果
ADC 過渡入力電圧セトリング (1ksps)	$< 0.5 \times \text{LSB} = 402\mu\text{V}$	41.6 μV	該当なし
AVDD 消費電流(1ksps)	230nA	該当なし	214.8nA
AVDD 消費電力(1ksps)	759nW	該当なし	709nW
VDD OPAMP 消費電流	450nA	該当なし	431.6nA
VDD OPAMP 消費電力	2.025 μW	該当なし	1.942 μW
AVDD + VDD システム消費電力(1ksps)	2.784 μW	該当なし	2.651 μW

デザイン ノート

- 同相、出力振幅、線形開ループ ゲインの仕様に基づいて、オペアンプの線形範囲を特定します。これについては「部品選定」で述べます。
- 歪みを最小限に抑えるために、Cfilt には COG (NPO)コンデンサを選定します。
- 『TI プレジジョン ラボ – ADC』トレーニング ビデオ シリーズで、電荷バケツ回路 Rfilt と Cfilt の選択方法を説明しています (『SAR ADC フロント エンド コンポーネント選定の概要』を参照)。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、この例のアンプと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。設計を変更するには、別の RC フィルタを選択する必要があります。

部品選定

- 低消費電力オペアンプを選定します。

- 消費電流: 0.5 μA 未満
- ゲイン帯域幅積: 5kHz 超 (サンプリング レートの 5 倍)
- ユニティゲイン安定
- LPV811 – 消費電流: 450nA、ゲイン帯域幅積: 8kHz、ユニティゲイン安定

- 線形動作に対応するオペアンプの最大/最小出力を特定します。

$$V_{ee} + 0\text{ V} < V_{out} < V_{dd} - 0.9\text{ V from LPV811 } V_{cm} \text{ specification}$$

$$V_{ee} + 10\text{ mV} < V_{out} < V_{dd} - 10\text{ mV from LPV811 } V_{out} \text{ swing specification}$$

$$V_{ee} + 0.3\text{ V} < V_{out} < V_{dd} - 0.3\text{ V from LPV811 } A_{ol} \text{ linear region specification}$$

- 推定値による標準消費電力計算(1ksps 時)。低消費電力 SAR 設計のトレードオフの詳細については、『SAR ADC パワー スケーリング』を参照してください。

$$P_{AVDD} = I_{AVDD_AVG} \times AVDD = 230\text{ nA} \times 3.3\text{ V} = 759\text{ nW}$$

$$P_{LPV811} = I_{LPV811} \times (V_{dd} - V_{ee}) = 450\text{ nA} \times [4.5\text{ V} - (-0.3\text{ V})] = 2.16\text{ }\mu\text{W}$$

$$P_{total} = P_{AVDD} + P_{LPV811} = 759\text{ nW} + 2.16\text{ }\mu\text{W} = 2.919\text{ }\mu\text{W}$$

- 測定値による標準消費電力計算(1ksps 時)。

$$P_{AVDD} = I_{AVDD_AVG} \times AVDD = 214.8\text{ nA} \times 3.3\text{ V} = 708.8\text{ nW}$$

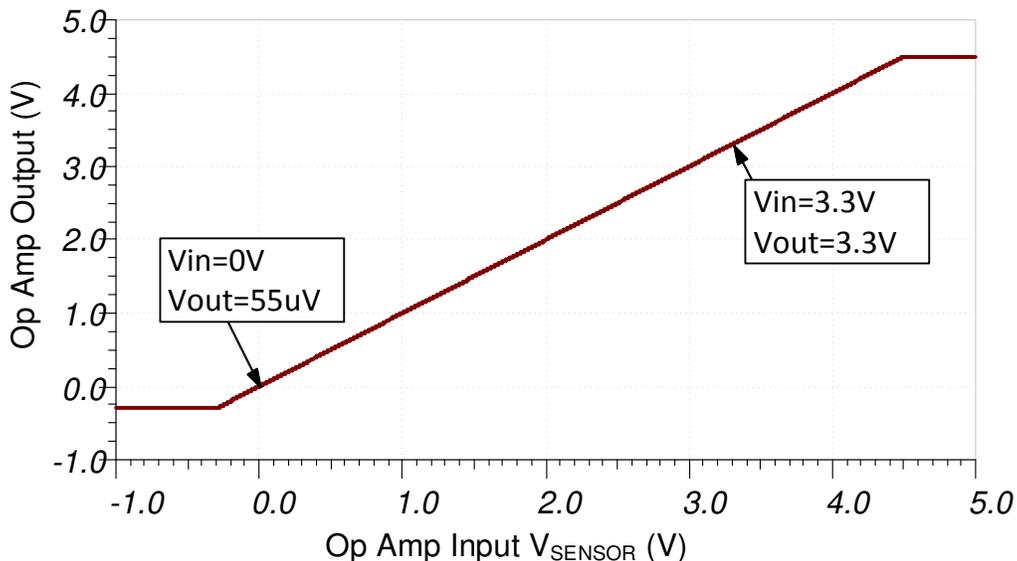
$$P_{LPV811} = I_{LPV811} \times (V_{dd} - V_{ee}) = 431.6\text{ nA} \times [4.5\text{ V} - (-0.3\text{ V})] = 2.071\text{ }\mu\text{W}$$

$$P_{total} = P_{AVDD} + P_{LPV811} = 708.8\text{ nW} + 2.071\text{ }\mu\text{W} = 2.780\text{ }\mu\text{W}$$

- 1ksps でセトリングを実現する Rfilt と Cfilt を求めます。Rfilt と Cfilt を選択するアルゴリズムについては、『Rfilt 値と Cfilt 値を微調整』(『プレジジョン ラボ』のビデオ) を参照してください。最終的に 200k Ω と 510pF という値で、最下位ビット(LSB)の 1/2 を優に下回るまでセトリングできることが分かりました。

DC 伝達特性

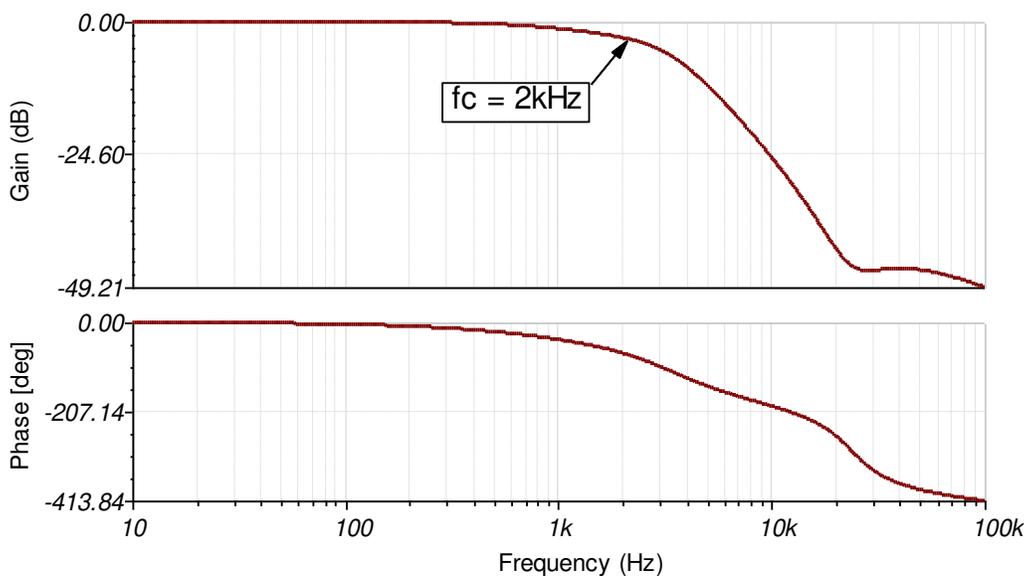
以下のグラフは、0~3.3V の入力に対する線形出力応答を示しています。ADC のフルスケール範囲 (FSR) は、オペアンプの線形範囲内に収まっています。この件の詳しい理論については、『[オペアンプを使用するときの SAR ADC の線形範囲の決定](#)』を参照してください。



AC 伝達特性

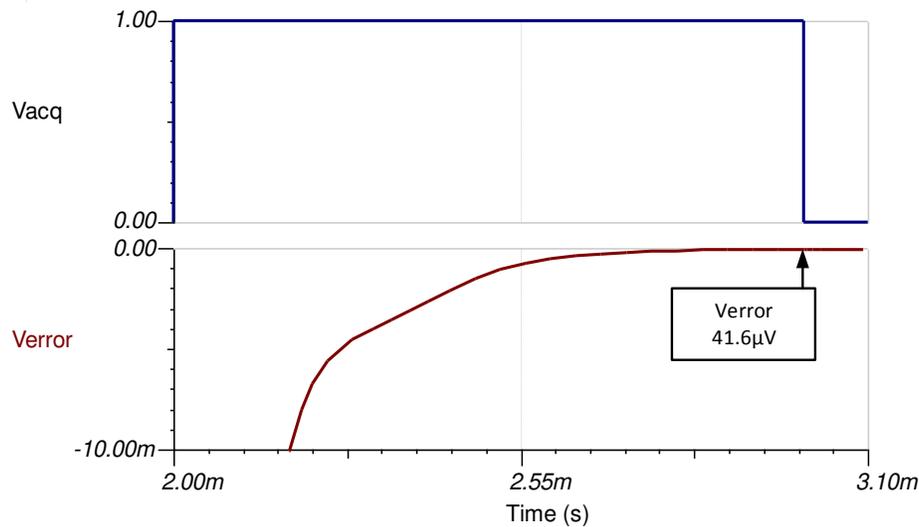
帯域幅シミュレーションは、アンプの出力インピーダンスと RC 電荷バケツ回路 (R_{filt} と C_{filt}) の影響を含んでいます。RC 回路の帯域幅は、以下の式に示すとおり 1.56kHz となります。2kHz という帯域幅のシミュレーション結果は、負荷のインピーダンスと相互作用する出力インピーダンスの影響を含んでいます。この件の詳細については、『[TI Precision Labs - Op Amps: Bandwidth 1](#)』(英語) を参照してください。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R_{\text{filt}} \times C_{\text{filt}}} = \frac{1}{2 \times \pi \times (200 \text{ k}\Omega) \times (510 \text{ pF})} = 1.56 \text{ kHz}$$



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、3V DC 入力信号へのセリングを示しています。このようなシミュレーションは、LSB の 1/2 (402 μ V)以内になるようにサンプル/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、『[SAR ADC フロント エンド コンポーネント選定の概要](#)』を参照してください。



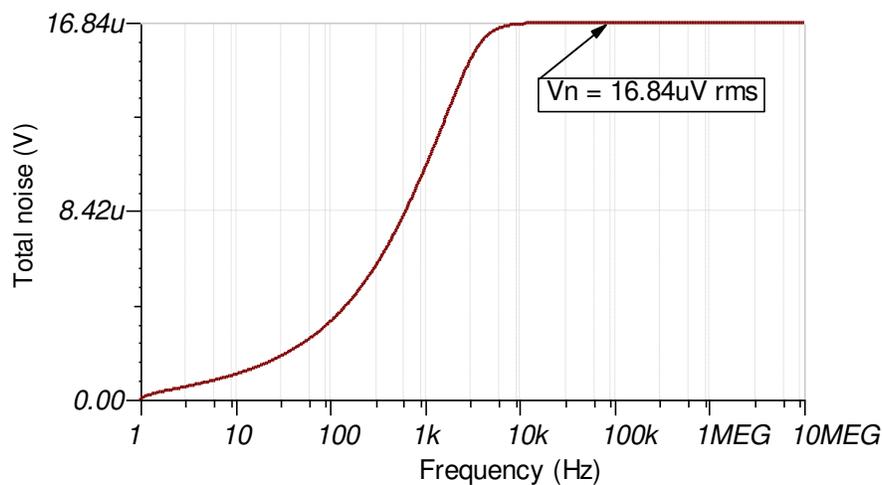
ノイズ シミュレーション

ここには概算用の簡易なノイズ計算を記載します。抵抗のノイズは 10kHz を超える周波数で減衰するため、この計算では無視されます。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R_{\text{filt}} \times C_{\text{filt}}} = \frac{1}{2 \times \pi \times 200 \text{ k}\Omega \times 510 \text{ pF}} = 1560 \text{ Hz}$$

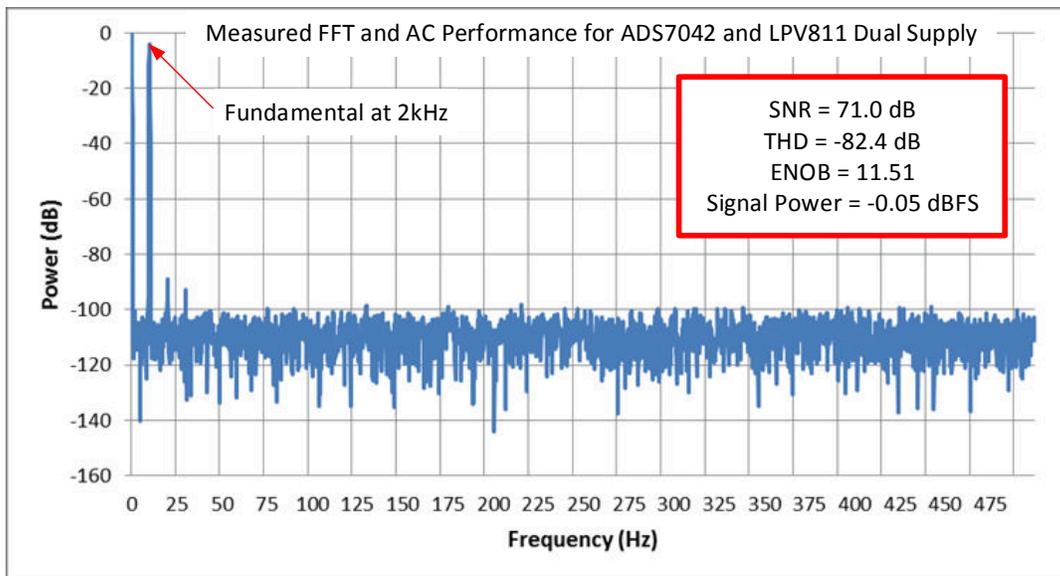
$$E_n = e_{n811} \times \sqrt{K_n \times f_c} = \frac{340 \text{ nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \times \sqrt{1.57 \times 1560 \text{ Hz}} = 16.8 \mu\text{V}$$

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。



FFT 測定

この性能は、ADS7042EVM に変更を加えて、10Hz の入力正弦波により測定しました。AC 性能は SNR = 71.0dB、THD = -82.4dB、ENOB (有効ビット数) = 11.51 であることを示しており、ADC の性能仕様: SNR = 70dB、THD = -80dB とよく一致しています。このテストは室温で実施しました。この件の詳細については、『[周波数ドメインの概要](#)』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
ADS7042 ⁽¹⁾	分解能: 12ビット、SPI、サンプルレート: 1MSPs、シングルエンド入力、AVDD 入力基準電圧範囲: 1.6V~3.6V	SPI インターフェイス付き 12ビット 1MSPS 超低消費電力、超小型 SAR ADC	A/D コンバータ (ADC)
LPV811 ⁽²⁾	帯域幅: 8kHz、レールツーレール出力、消費電流: 450nA、ユニティゲイン安定	シングルチャネル 450nA 高精度ナノパワー オペアンプ	オペアンプ

- (1) ADS7042 は AVDD を入力基準電圧として使用します。TPS7A47 などの高 PSRR LDO を電源として使用してください。
- (2) LPV811 は低速センサ用途にもよく使用されます。さらに、レールツーレール出力により、ADC の全入力電圧範囲にわたって線形振幅を実現します。

主要なファイルへのリンク (TINA)

テキサス・インスツルメンツ、『[SBAM342 回路](#)』、設計ファイル

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 * (November 2017) 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..... 1
- 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