

# Low-Power Sensor Measurements: 3.3V、1kSPS、12 ビット、シングルエンド、シングル電源回路



Reed Kaczmarek

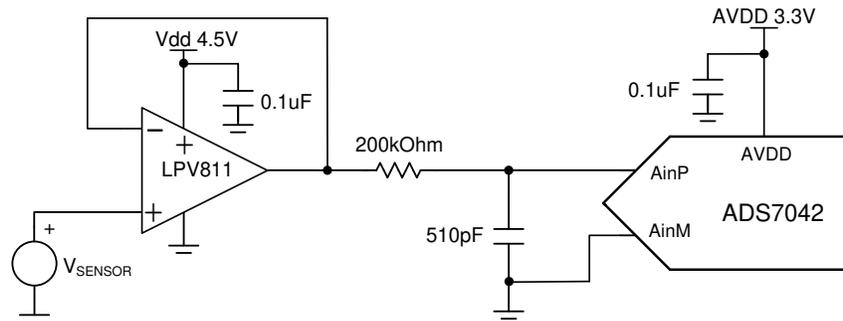
入力	ADC 入力	デジタル出力 ADS7042
VinMin = 0V	AIN_P = 0V、AIN_M = 0V	000 <sub>H</sub> または 0 <sub>10</sub>
VinMax = 3.3V	AIN_P = 3.3V、AIN_M = 0V	FFF <sub>H</sub> または 4096 <sub>10</sub>

## 電源

AVDD	Vee	Vdd
3.3 V	0V	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 の駆動に用いる超低消費電力アンプを示しています。この設計は、システムレベルの消費電力をわずか数  $\mu\text{W}$  に抑えることができ、センサデータの収集に適しています。この SAR ADC 設計を活用できる実装の例として、**PIR センサ**、**ガス センサ**、**血糖モニタ**が挙げられます。「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、デュアル電源**では、負電源を小さい負電圧 (-0.3V) に接続する、この回路の高性能版を示しています。単一電源版では、アンプの出力が 0V に近くなると性能が低下します。ただし、ほとんどの場合、シンプルであるため単一電源構成の方が好まれます。



## 仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果	測定結果
ADC 過渡入力電圧セッティング (1ksps)	$< 0.5 \times \text{LSB} = 402\mu\text{V}$	41.6 $\mu\text{V}$	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 $\mu\text{W}$	該当なし	1.942 $\mu\text{W}$
AVDD + VDD システム消費電力 (1ksps)	2.784 $\mu\text{W}$	該当なし	2.651 $\mu\text{W}$

## デザインノート

1. 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」で説明します。
2. 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。
3. 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。
4. 『TI Precision Labs – ADCs』トレーニング ビデオ シリーズで、電荷バケツ回路 Rfilt と Cfilt の選定方法について説明しています。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。ここに示されている値を使用すると、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 性能が得られます。この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。最良のセトリングと AC 性能を実現する RC フィルタの選定方法については、『SAR ADC フロント エンド コンポーネント選定の概要』トレーニング ビデオを参照してください。

## 部品選定

1. 低消費電力オペアンプを選定します。
  - 消費電流: 0.5µA 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
  - このクックブックでは、LPV811 を選定しました。LPV811 は消費電流 450nA、ゲイン帯域幅積 8kHz、ユニティ ゲイン安定を特長としています。
2. 線形動作に対応するオペアンプの最大/最小出力を求めます。

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

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

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

$$0.3V < V_{in} < 3.4V \quad \text{Combined worst case}$$

### 注

LPV811 の線形範囲は GND から 300mV です。つまり、0V~3.3V (ADS7042 のフルスケール範囲 (FSR)) のフル線形範囲を保証するようにシステムを設計するには、負電源が必要です。この設計は、負電源電圧を使用せずに全測定結果で ADS7042 の SNR と THD の仕様を満たすことを示しています。このテストは室温のみで、より堅牢なシステムで行われました。『低消費電力センサ測定: 3.3V、1ksps、12 ビット シングルエンド、デュアル電源』では、この設計でグラウンドの代わりに負電源を使用する例を示しています。

3. 推定値による標準消費電力計算(1ksps 時)。

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

$$P_{LPV811} = I_{LPV811} \times (V_{dd} - V_{ee}) = 450nA \times (4.5V - 0V) = 2.025\mu W$$

$$P_{total} = P_{AVDD} + P_{LPV811} = 759nW + 2.025\mu W = 2.794\mu W$$

4. 測定値による標準消費電力計算(1ksps 時)。

$$P_{AVDD} = I_{AVDD\_Avg} \times AVDD = 214nA \times 3.3V = 709nW$$

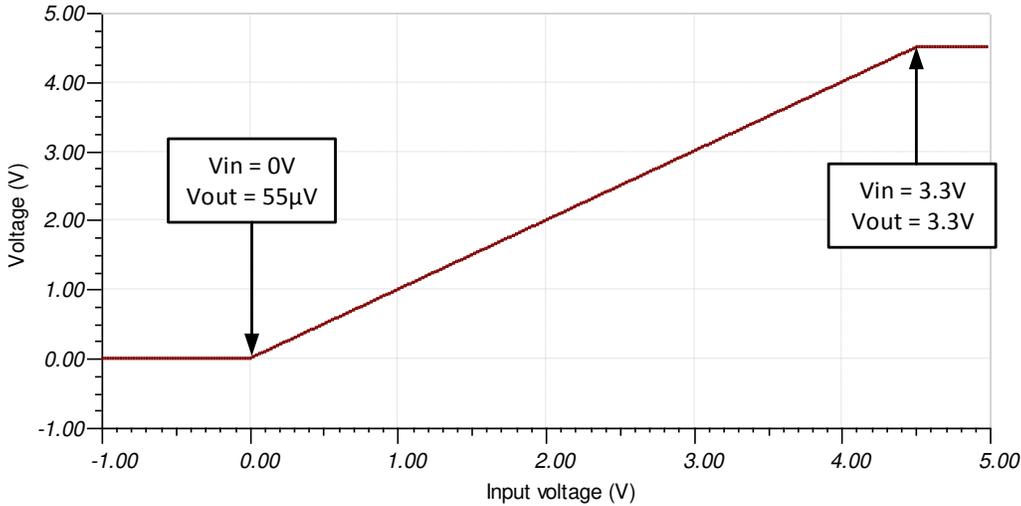
$$P_{LPV811} = I_{LPV811} \times (V_{dd} - V_{ee}) = 431.6nA \times (4.5V - 0V) = 1.942\mu W$$

$$P_{total} = P_{AVDD} + P_{LPV811} = 709nW + 1.942\mu W = 2.651\mu W$$

5. 1ksps でセリングを実現する Rfilt と Cfilt を求めます。『[Rfilt 値と Cfilt 値の微調整](#)』(Precision Labs のビデオ) では、Rfilt と Cfilt を選定するアルゴリズムを示しています。最終的に 200kΩ 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

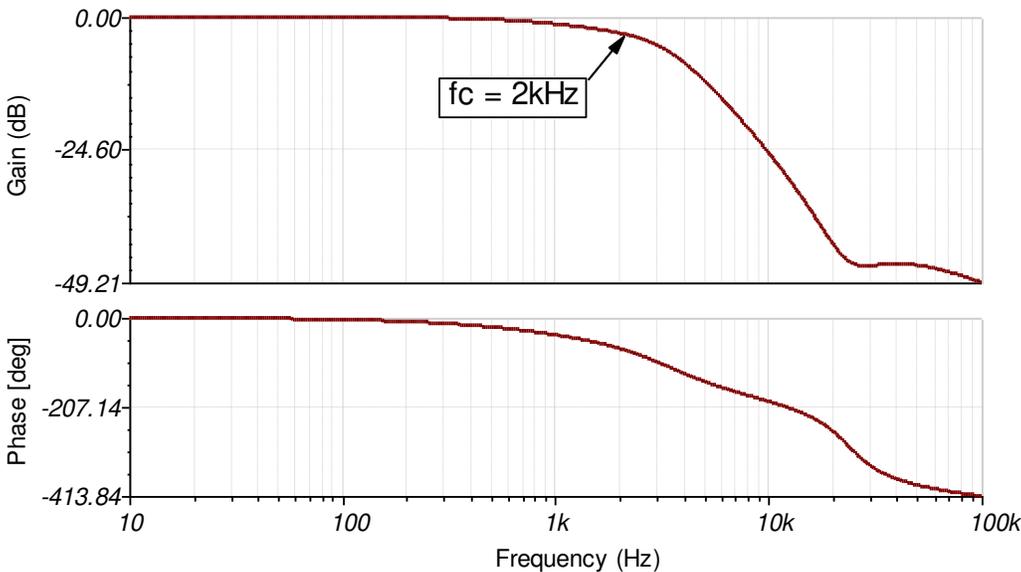
以下のグラフは、0~3.3V の入力に対する線形出力応答を示しています。ADC の入力電圧範囲(FSR)はオペアンプの線形範囲内に収まっています。



### AC 伝達特性

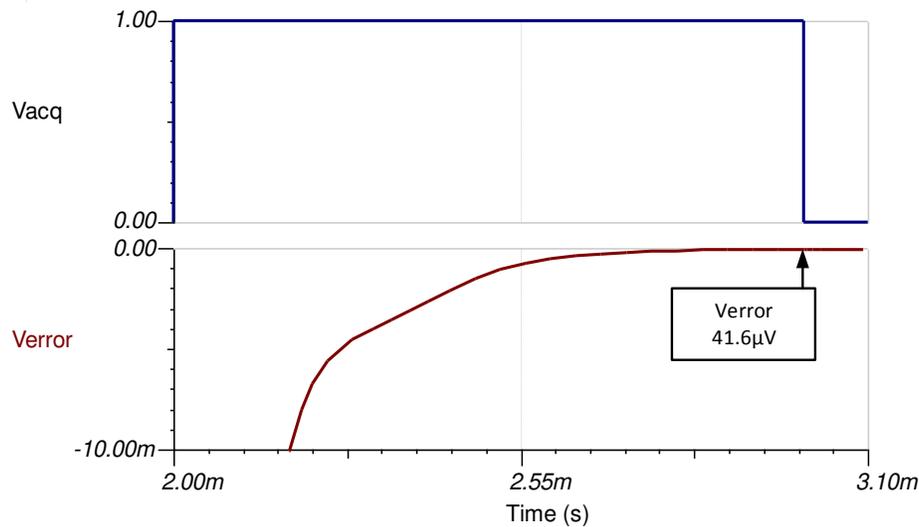
帯域幅シミュレーションは、アンプの出力インピーダンスと RC 電荷バケツ回路 (Rfilt と Cfilt) の影響を含んでいます。次の式に示すように、RC 回路の帯域幅は 1.56kHz です。2kHz という帯域幅のシミュレーション結果は、負荷のインピーダンスと相互作用する出力インピーダンスの影響を含んでいます。この件の詳細については、『[TI Precision Labs - オペアンプ: 帯域幅 1](#)』を参照してください。

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



## 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 $\mu$ 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、『[Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection](#)』を参照してください。



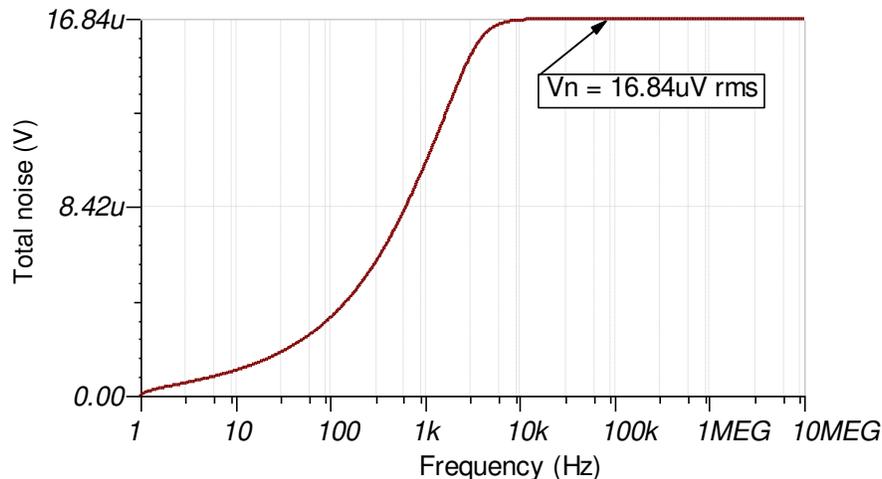
## ノイズ シミュレーション

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、この計算では無視します。

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{filt}} \cdot C_{\text{filt}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (200\text{k}\Omega) \cdot (510\text{pF})} = 1560.3\text{Hz}$$

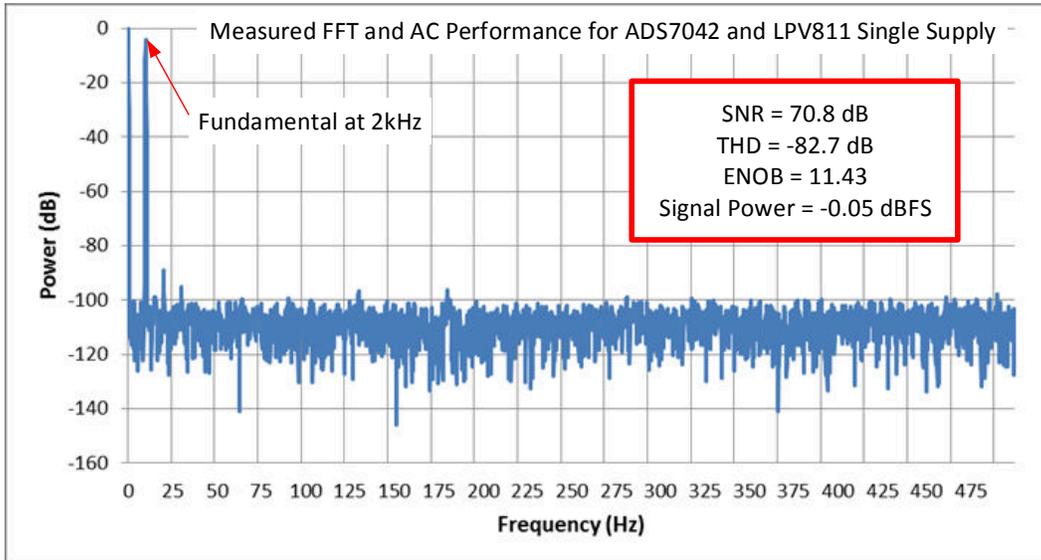
$$E_n = e_{n811} \times \sqrt{2 \times K_n \times f_c} = (340\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \times \sqrt{1.57 \times (1560\text{Hz})} = 16.8\mu\text{V}$$

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。



## FET 測定

この性能は、ADS7042EVM-PDK に変更を加えて測定しました。AC 性能は SNR = 70.8dB、THD = -82.7dB、ENOB (有効ビット数) = 11.43 であることを示しており、ADC の性能仕様: SNR = 70dB とよく一致しています。



## 使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ADS7042 <sup>(1)</sup>	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、Vref 入力電圧範囲: 1.6V~3.6V	SPI 搭載の 12 ビット 1MSPS 超低消費電力、超小型 SAR ADC	ADCS
LPV811 <sup>(2)</sup>	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 を電源として使用できます。
- (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

テキサス・インスツルメンツ、[LPV811 TINA ファイル](#)、ソフトウェア ダウンロード

## 改訂履歴

Changes from Revision A (March 2019) to Revision B (September 2024)	Page
ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	1

Changes from Revision * (February 2018) to Revision A (March 2019)	Page
変更帯域幅の混乱を解消し、低消費電力センサの測定値と整合するよう、「AC 伝達特性」セクションを変更: 3.3V、1ksps、12 ビット、シングルエンド、デュアル電源回路.....	1
タイトルを「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