

# Analog Engineer's Circuit

## 計装アンプによるスイッチト キャパシタ SAR ADC 駆動回路



Art Kay and Bryan McKay

入力	ADC 入力	デジタル出力 ADS8860
-5 mV	Out = 0.2V	0A3D <sub>H</sub> または 2621 <sub>10</sub>
15mV	Out = 4.8V	F5C3 <sub>H</sub> または 62915 <sub>10</sub>

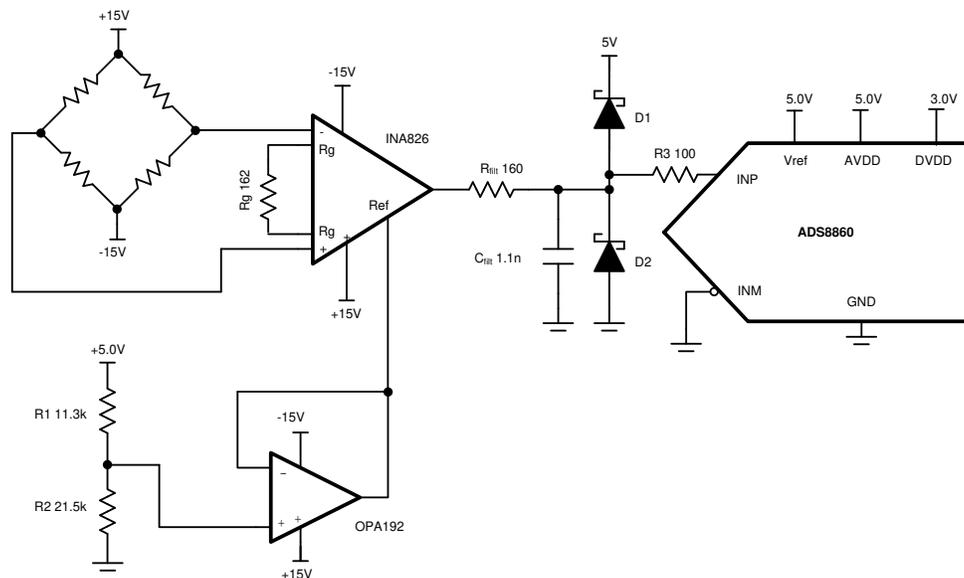
表 1-1. 電源

AVDD	DVDD	V <sub>ref_INA</sub>	V <sub>ref</sub>	V <sub>CC</sub>	V <sub>EE</sub>
5.0V	3.0V	3.277V	5.0V	+15V	-15V

### 設計の説明

計装アンプは、低レベルのセンサ出力を高レベル信号に変換して ADC を駆動する一般的な方法です。通常、計装アンプは低ノイズ、低オフセット、低ドリフトに最適化されています。しかし、多くの計装アンプの帯域幅は最高サンプリングレートで ADC における電荷のキックバックを適切にセリングするのに十分ではありません。本書に、サンプリングレートを調整して適切なセリングを実現する方法を示します。さらに、多くの計装アンプは高電圧電源用に最適化されており、高電圧出力(すなわち±15V)を低電圧 ADC (5V など)に接続する必要があります。この設計書に、ショットキーダイオードと直列抵抗を使用して、ADC 入力を過電圧状態から保護する方法を示します。なお、以下の回路はブリッジ センサを示していますが、この方法は多種多様なセンサに利用できます。この回路に変更を加えた『バッファ付き計装アンプを使用したスイッチト キャパシタ SAR 駆動回路』には、広帯域バッファを使用してサンプリングレートを上げる方法を示しています。

この回路は、高精度の信号処理とデータ変換が必要なすべての PLC ブリッジトランスデューサとアナログ入力モジュールに適しています。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

## 仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果
サンプリング レート	200ksps	200ksps、 $-6\mu\text{V}$ にセトリング
オフセット(ADC 入力)	$40\mu\text{V} \times 306.7 = 12.27\text{mV}$	16mV
オフセットドリフト	$(0.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}) \times 306.7 = 123\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	該当なし
ノイズ	978 $\mu\text{V}$	874 $\mu\text{V}$

## デザイン ノート

- ADC の入力範囲にマッチした入力振幅を実現するようにゲインを選定します。計装アンプの基準ピンを使用して、入力範囲にマッチするように信号オフセットをシフトします。これについては「部品選定」で述べます。
- 入力ショットキー ダイオード構成を使用して、入力電圧が絶対最大定格から逸脱するのを防ぎます。BAT54S ショットキーは、1 つのパッケージに 2 つのダイオードを搭載しており、いずれもリーク電流が小さく、順方向電圧が低いいため、この設計には最適です。これについては「部品選定」で述べます。
- 大半の計装アンプの入力基準電圧を駆動するには、分圧器の後にバッファ アンプが必要です。高精度の抵抗と高精度の低オフセットアンプをバッファとして選定してください。この件の詳細については、『適切なオペアンプの選定』を参照してください。
- 『計装アンプの同相入力電圧範囲計算機』ソフトウェア ツールを使用して、アンプの同相電圧範囲を確認します。
- 歪みを最小限に抑えるために  $C_{CM1}$ 、 $C_{CM2}$ 、 $C_{DIF}$ 、 $C_{filt}$  に COG コンデンサを選択します。
- ゲイン設定抵抗  $R_g$  には、0.1% 20ppm/ $^\circ\text{C}$  の薄膜抵抗を使用します。この抵抗の誤差とドリフトがゲイン誤差とゲインドリフトに直結します。
- 『TI プレジジョン ラボ - ADC』トレーニング ビデオ シリーズでは、電荷バケツ回路の  $R_{filt}$  と  $C_{filt}$  を選択する方法について解説しています。この方法はオペアンプ向けですが、計装アンプ向けに変更可能です。この件の詳細については、『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。

## 部品選定

- 出力振幅を 0.2V~4.8V に設定する計装アンプのゲイン設定抵抗を求めます。

$$\text{Gain} = \frac{V_{out\_max} - V_{out\_min}}{V_{in\_max} - V_{in\_min}} = \frac{4.9\text{V} - 0.2\text{V}}{5\text{mV} - (-10\text{mV})} = 306.7$$

$$\text{Gain} = 1 + \frac{49.4\text{k}\Omega}{R_g}$$

$$R_g = \frac{49.4\text{k}\Omega}{\text{Gain} - 1.0} = \frac{49.4\text{k}\Omega}{(306.7) - 1.0} = 151.6\Omega \text{ or } 162\Omega \text{ for standard } 0.1\% \text{ resistor}$$

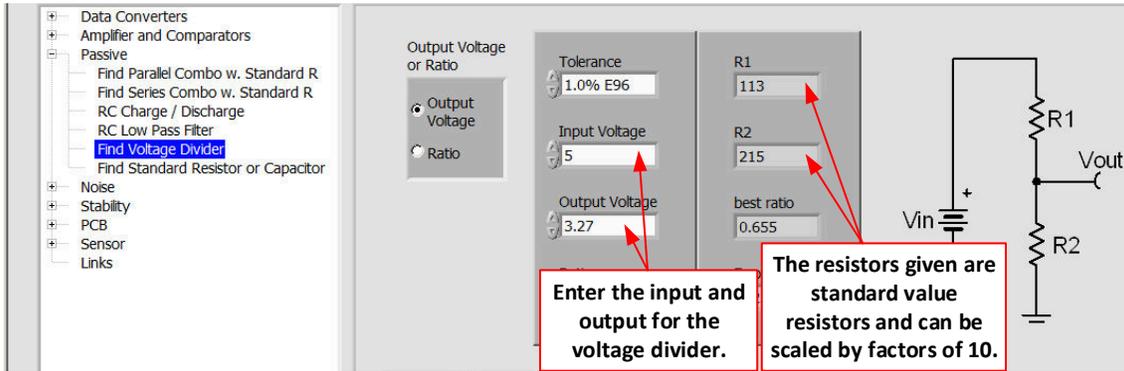
- 出力振幅を適切な電圧レベルにシフトする INA826 の基準電圧 ( $V_{ref}$ ) を求めます。

$$V_{out} = \text{Gain} \cdot V_{in} + V_{ref\_INA}$$

$$V_{ref\_INA} = V_{out} - \text{Gain} \cdot V_{in} = 4.8\text{V} - \left(1 + \frac{49.4\text{k}\Omega}{162\Omega}\right) \cdot (5\text{mV}) = 3.27\text{V}$$

- INA826 の基準電圧 ( $V_{ref} = 3.27\text{V}$ ) を設定する標準値抵抗を選択します。『アナログ技術者向けカリキュレータ』(「PassiveFind Voltage Divider」セクション)を使用して、分圧器の標準値を求めます。

$$V_{ref\_INA} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in\_div} = \frac{21.5\text{k}\Omega}{11.3\text{k}\Omega + 21.5\text{k}\Omega} \cdot (5\text{V}) = 3.277\text{V}$$



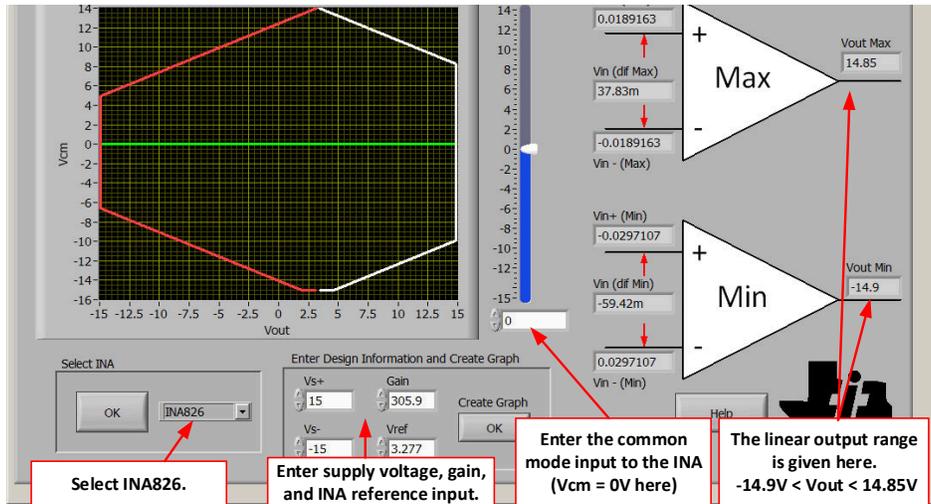
Output Voltage or Ratio  
 Output Voltage  
 Ratio

Tolerance: 1.0% E96  
 Input Voltage: 5  
 Output Voltage: 3.27

R1: 113  
 R2: 215  
 best ratio: 0.655

**Enter the input and output for the voltage divider.**  
**The resistors given are standard value resistors and can be scaled by factors of 10.**

4. 『計装アンプの同相入力電圧範囲計算機』を使用して、INA826 が同相電圧範囲を逸脱しているかどうか判断します。



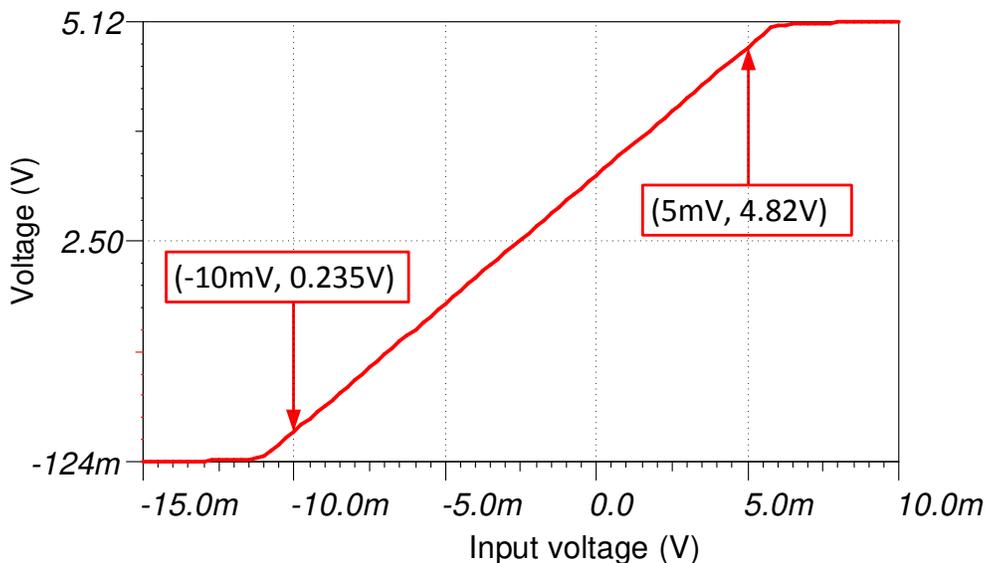
Select INA: **INA826**  
 Enter Design Information and Create Graph  
 Vs+: 15, Gain: 305.9, Vs-: -15, Vref: 3.277  
 Create Graph

Vout Max: 14.85  
 Vout Min: -14.9  
 Vcm: 0

**Select INA826.**  
**Enter supply voltage, gain, and INA reference input.**  
**Enter the common mode input to the INA (Vcm = 0V here)**  
**The linear output range is given here. -14.9V < Vout < 14.85V**

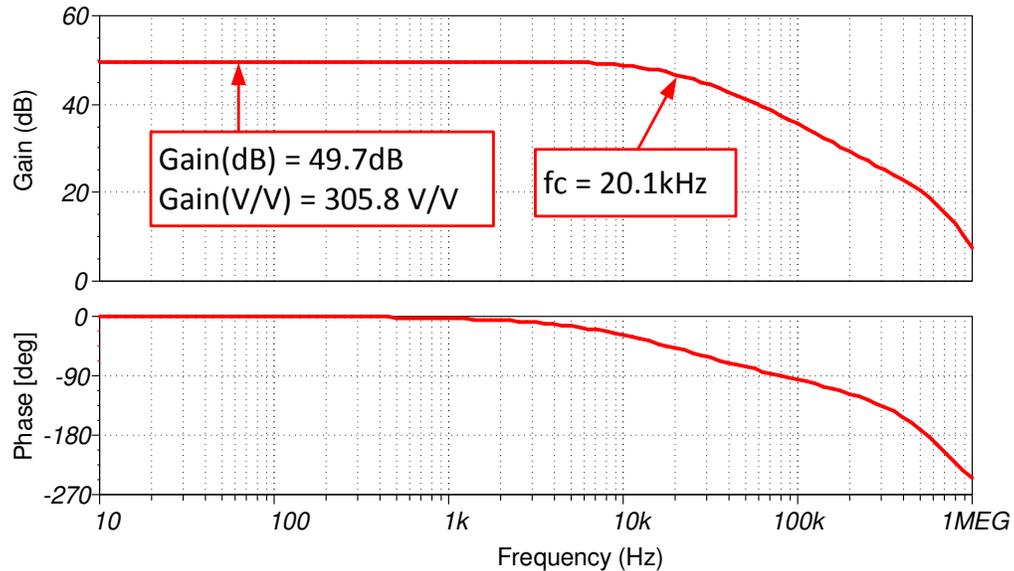
### DC 伝達特性

以下のグラフは、 $-5\text{mV} \sim +15\text{mV}$  の入力に対する線形出力応答を示しています。この件の詳しい理論については、『計装アンプ使用時の SAR ADC の線形範囲の決定』を参照してください。なお、ADS8860 を保護するために、ショットキーダイオードを使用して出力範囲を意図的に  $-0.12\text{V} \sim 5.12\text{V}$  に制限しています。ショットキーダイオードを使用する理由は、順方向電圧降下が小さいため(一般に  $0.3\text{V}$  未満)出力制限値を ADC 電源電圧に極めて近く維持できるからです。ADS8860 の絶対最大定格は  $-0.3\text{V} < \text{Vin} < \text{REF} + 0.3\text{V}$  です。



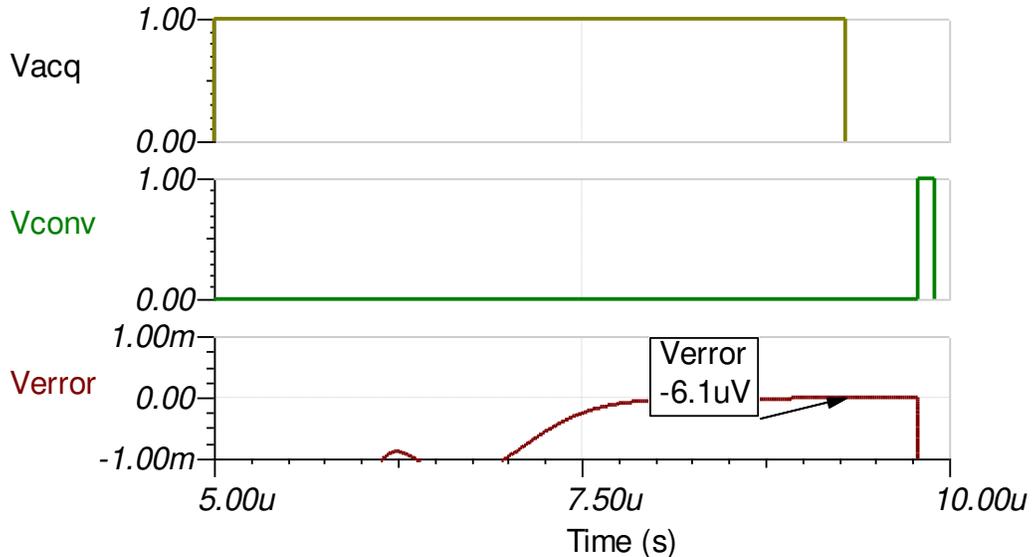
## AC 伝達特性

帯域幅のシミュレーション結果は 20.1kHz で、ゲインは 49.7dB であることから、線形ゲインは 305.8 となります。この件の詳細については、『[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、+ 15mV 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、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。



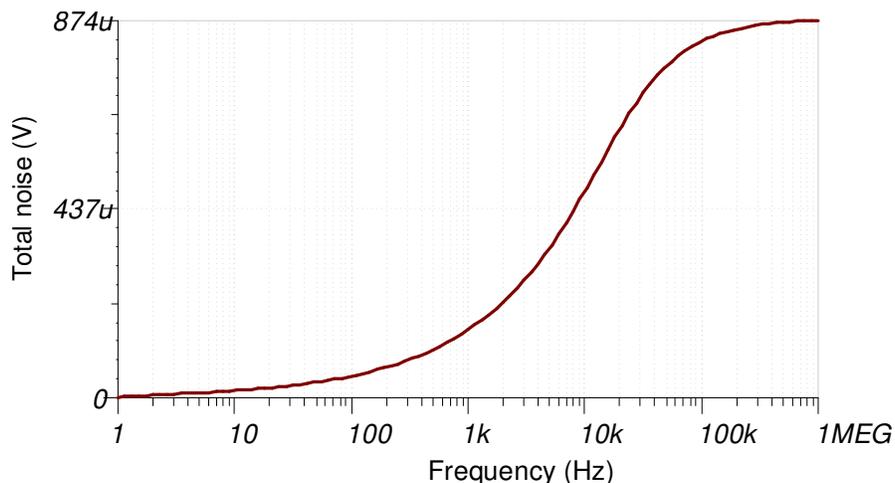
## ノイズ シミュレーション

以下の簡易なノイズ計算は概算用です。計装アンプが高ゲインであることから、そのノイズが支配的になるため、OPA192のノイズは無視します。

$$E_n = \text{Gain} \cdot \sqrt{e_{NI}^2 + \left(\frac{e_{NO}}{\text{Gain}}\right)^2} \cdot \sqrt{K_n \cdot f_c}$$

$$E_n = (305.8) \cdot \sqrt{\left(18\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}\right)^2 + \left(\frac{110\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}}{305.8}\right)^2} \cdot \sqrt{1.57 \cdot (20.1\text{kHz})} = 978\mu\text{V} / \sqrt{\text{Hz}}$$

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。アンプ ノイズ計算の詳細な理論については、『[TI Precision Labs - Op Amps: Noise 4](#)』(英語) を、データ コンバータのノイズについては『[Calculating the Total Noise for ADC Systems](#)』(英語) を参照してください。



## オプションの入力フィルタ

以下の図は、よく使用されている計装アンプの入力フィルタを示しています。差動ノイズは  $C_{dif}$  でフィルタ処理され、同相ノイズは  $C_{cm1}$  および  $C_{cm2}$  でフィルタ処理されます。なお、 $C_{dif} \geq 10C_{cm}$  とすることを推奨します。これにより、部品の許容差が原因で同相ノイズが差動ノイズに変換されるのを防止できます。以下のフィルタは、15kHz の差動カットオフ周波数に設計されています。

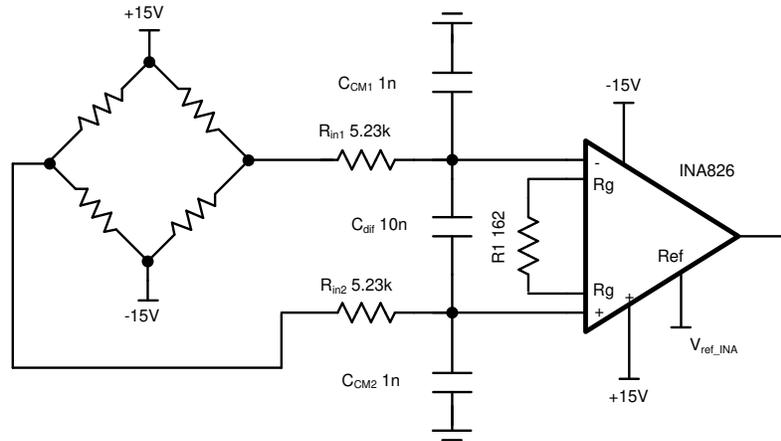
Let  $C_{dif} = 1\text{nF}$  and  $f_{dif} = 15\text{kHz}$

$$R_{in} < \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_{dif} \cdot C_{dif}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot (15\text{kHz}) \cdot (1\text{nF})} = 5.305\text{k}\Omega \text{ or } 5.23\text{k}\Omega \text{ for } 1\% \text{ standard value}$$

$$C_{cm} = \frac{1}{10} \cdot C_{dif} = 100\text{pF}$$

$$f_{cm} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{in} \cdot C_{cm}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (5.23\text{k}\Omega) \cdot (100\text{pF})} = 304\text{kHz}$$

$$f_{dif} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot R_{in} \cdot \left(C_{dif} + \frac{1}{2} C_{cm}\right)} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot (5.23\text{k}\Omega) \cdot \left(1\text{nF} + \frac{1}{2} \cdot 100\text{pF}\right)} = 14.5\text{kHz}$$



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

## 使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ADS8860	分解能: 16ビット、SPI、サンプルレート: 1Msps、シングルエンド入力、Vref 入力 電圧範囲: 2.5V~5.0V	シングルエンド入力、SPI 搭載、デジ タリ チェーン対応、16 ビット、 1MSPS、1 チャンネル SAR ADC	高精度 ADC
OPA192	帯域幅 10MHz、レール ツー レール入出力、低ノイズ 5.5nV/rtHz、低オフセット $\pm 5\mu\text{V}$ 、低オフセットドリフト $\pm 0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (標準値)	高電圧、レール ツー レール入出力、 5 $\mu\text{V}$ 、0.2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、高精度オペアンプ	高精度オペアンプ (Vos が 1mV 未満)
INA826	帯域幅 1MHz (G = 1)、低ノイズ 18nV/rtHz、低オフセット $\pm 40\mu\text{V}$ 、低オフセットドリ フト $\pm 0.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、低ゲインドリフト 0.1ppm/ $^\circ\text{C}$ (標準値)	高精度、200 $\mu\text{A}$ 消費電流、36V 電源 の計装アンプ	計装アンプ

## 主要なファイルへのリンク

テキサス・インスツルメンツ、『[SBAA277 用のソース 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 \* (December 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。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