

高電圧バッテリー・モニタ回路: $\pm 20V$ 、 $0 \sim 10kHz$ 、 18ビット、完全差動

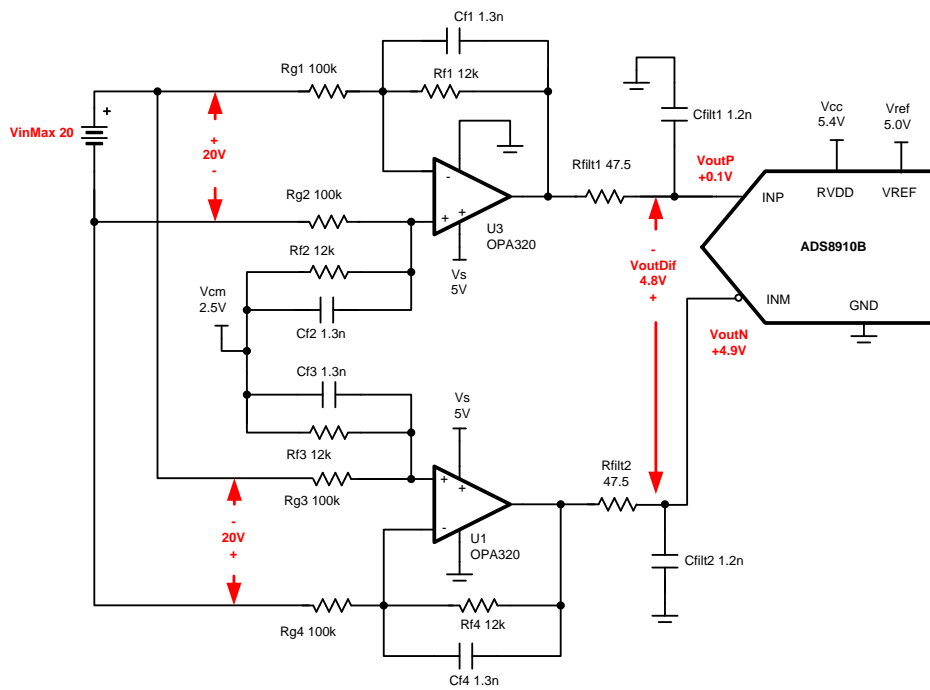
Bryan McKay, Arthur Kay

入力	ADC入力	デジタル出力ADS8910
VinMin = -20V	VoutDif = 4.8V, VoutP = 4.9V, VoutN = 0.1V	1EB85 _H または125829 ₁₀
VinMax = 20V	VoutDif = -4.8V, VoutP = 0.1V, VoutN = 4.9V	2147B _H または-125829 ₁₀
電源		
Vcc	Vee	Vref
5.3V	0V	5V
		Vcm
		2.5V

設計の説明

このデザインは、 $\pm 20V$ のバイポーラ入力信号を完全差動ADCの差動入力電圧範囲である $\pm 4.8V$ に変換して、アンプの出力線形動作領域内に収めることができます。「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。

この回路はバッテリー管理システム、バッテリー・アナライザ、[バッテリー試験用機器](#)、[ATE](#)、無線基地局のリモート無線ユニット(RRU)といった高精度の電圧測定に適しています。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

仕様

仕様	計算結果	シミュレーション結果	測定結果
ADC過渡入力電圧セトリング	< 0.5LSBまたは19 μ V	6.6 μ V	N/A
ノイズ	20.7 μ V rms	20.65 μ V rms	30.8 μ V rms
帯域幅	10.2kHz	10.4kHz	10.4kHz

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](#)」で述べます。
2. 信号経路のコンデンサには、歪みを最小限に抑えるためにCOGタイプを選定します。この回路では、Cf1、Cf2、Cf3、Cf4、Cfilt1、Cfilt2をCOGタイプにする必要があります。
3. 適切なゲイン・ドリフトを実現し、歪みを最小限に抑えるために、0.1% 20ppm/ $^{\circ}$ C以下の薄膜抵抗を使用します。
4. プレジジョン・ラボ・ビデオ・シリーズで、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、『[Statistics Behind Error Analysis](#)』を参照してください。
5. 『[TI Precision Labs – ADCs](#)』トレーニング・ビデオ・シリーズで、電荷バケツ回路の R_{fit} と C_{fit} 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フィルタを選定してください。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、『[Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection](#)』を参照してください。

部品選定

1. この回路の一般式。

$$V_{\text{outMinOpa}} = \frac{V_{\text{outDifMin}}}{2} + V_{\text{cm}}$$

$$V_{\text{outMaxOpa}} = \frac{V_{\text{outDifMax}}}{2} + V_{\text{cm}}$$

$$V_{\text{outDif}} = V_{\text{inDif}} \times \text{Gain}_{\text{dif}}$$

$$\text{Gain}_{\text{dif}} = 2 \times \frac{R_f}{R_g}$$

2. 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。

$$-0.1\text{V} < V_{\text{cm}} < 5.1\text{V} \quad \text{OPA320 } V_{\text{cm}} \text{ specification}$$

$$0.035\text{V} < V_{\text{out}} < 4.965\text{V} \quad \text{from OPA320 } V_{\text{out}} \text{ swing specification}$$

$$0.1\text{V} < V_{\text{out}} < 4.9\text{V} \quad \text{from OPA320 } A_{\text{ol}} \text{ specification for linear operation}$$

$$0.1\text{V} < V_{\text{out}} < 4.9\text{V} \quad \text{Combined worst case}$$

3. 手順1の式を並べ替えてVoutDifMinとVoutDifMaxを求めます。手順2の複合ワーストケース条件に基づいて、最大/最小差動出力電圧を求めます。

$$V_{\text{outDifMax}} = 2 \cdot V_{\text{outMaxOpa}} - 2 \cdot V_{\text{cm}} = 2 \cdot (4.9\text{V}) - 2 \cdot (2.5\text{V}) = 4.8\text{V}$$

$$V_{\text{outDifMin}} = 2 \cdot V_{\text{outMinOpa}} - 2 \cdot V_{\text{cm}} = 2 \cdot (0.1\text{V}) - 2 \cdot (2.5\text{V}) = -4.8\text{V}$$

4. 手順3の結果に基づいて差動ゲインを求めます。

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{outDifMax}} - V_{\text{outDifMin}}}{V_{\text{inDifMax}} - V_{\text{inDifMin}}} = \frac{(4.8\text{V}) - (-4.8\text{V})}{(20\text{V}) - (-20\text{V})} = 0.24$$

5. 差動ゲインに応じて標準抵抗値を求めます。[アナログ技術者向けカリキュレータ](#)(「Amplifier and Comparator\Find Amplifier Gain」)を使用してRf/Rg比の標準値を求めます。

$$\frac{\text{Gain}_{\text{dif}}}{2} = \frac{R_f}{R_g} = \frac{0.24}{2} = 0.12$$

$$\frac{R_f}{R_g} = 0.12 = \frac{12\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega} = 0.12$$

6. カットオフ周波数のCfを特定します。

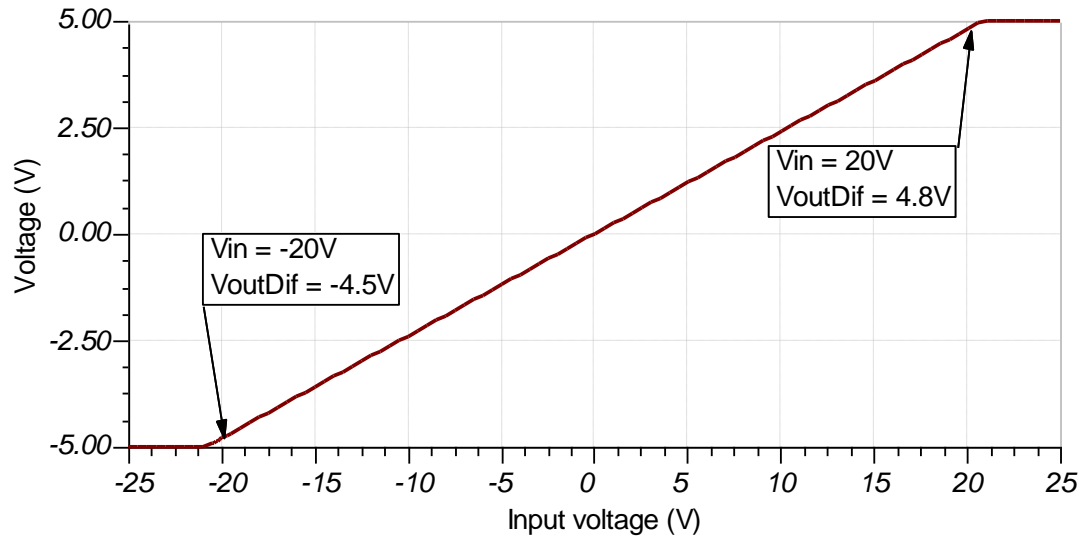
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_f \cdot R_f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (1.3\text{nF}) \cdot (12\text{k}\Omega)} = 10.2\text{ kHz}$$

$$C_f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R_f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (10\text{ kHz}) \cdot (12\text{ k}\Omega)} = 1.326\text{ nF} \quad \text{or } 1.3\text{ nF for standard value}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_f \cdot R_f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (1.3\text{nF}) \cdot (12\text{k}\Omega)} = 10.2\text{ kHz}$$

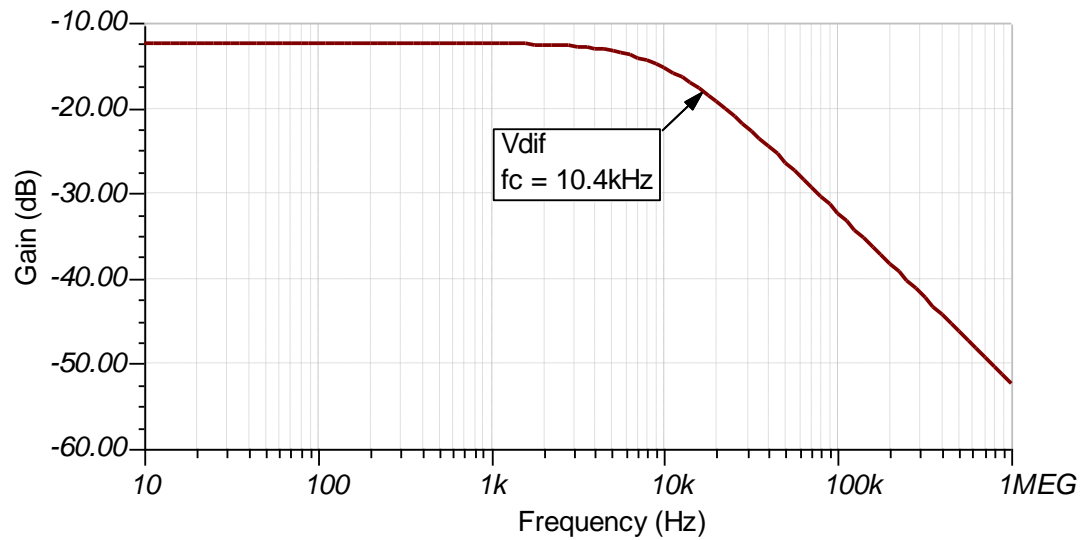
DC伝達特性

以下のグラフは、 -20V ～ $+20\text{V}$ 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、『[Determining a SAR ADC's Linear Range when using Operational Amplifiers](#)』を参照してください。



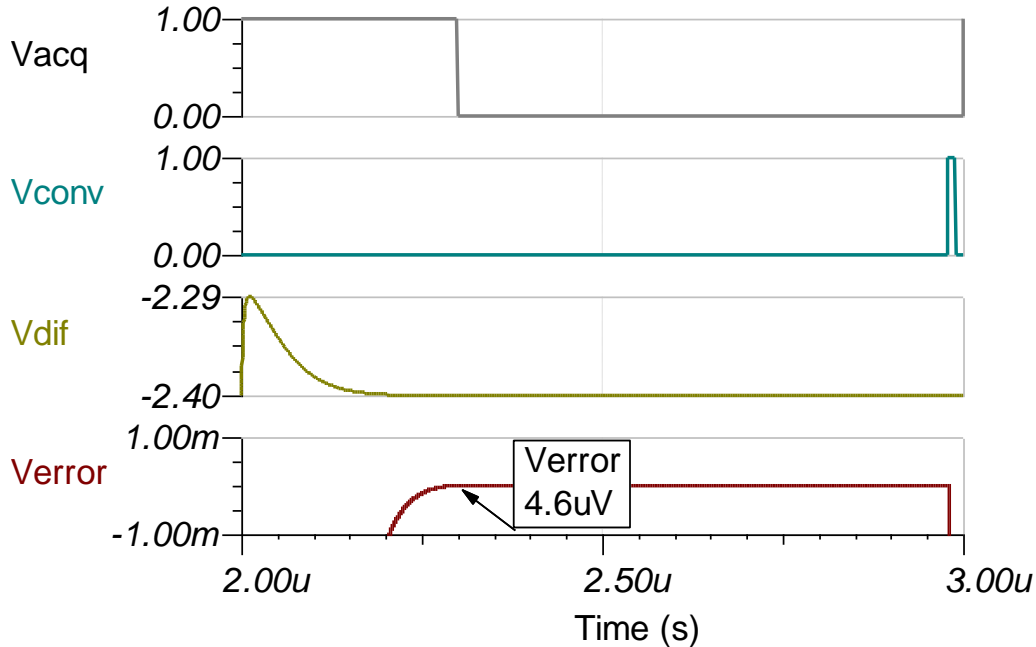
AC伝達特性

帯域幅のシミュレーション結果は 10.4kHz で、ゲインは -12.4dB であることから、線形ゲインは 0.12 となります。この件の詳細については、『[Op Amps: Bandwidth 1](#)』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、 $-20V$ DC入力信号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、[『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

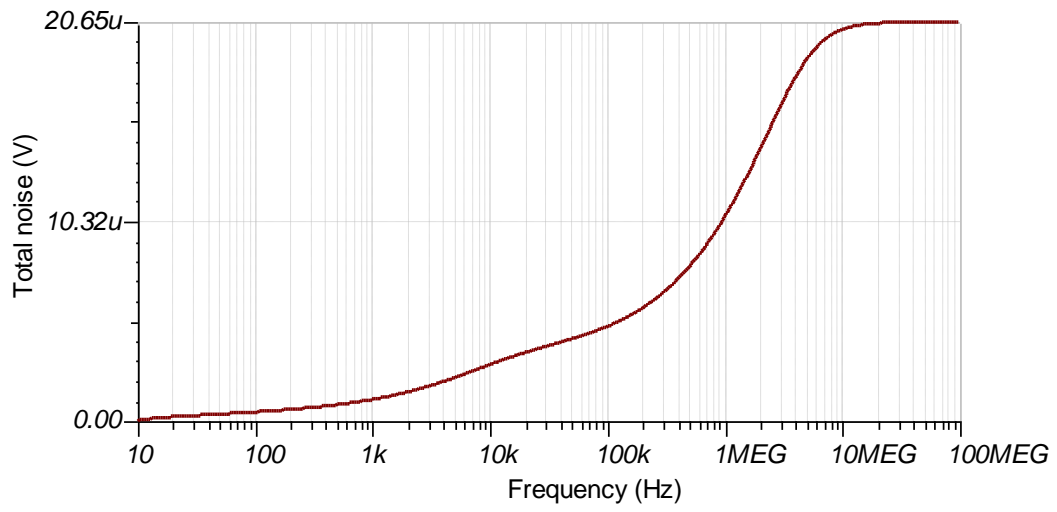
以下の簡易なノイズ計算は概算用です。抵抗のノイズは $10kHz$ を超える周波数で減衰するため、この計算では無視します。

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{fit} \cdot C_{fit}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (47.5\Omega) \cdot (1.2nF)} = 2.8MHz$$

$$E_{n_se} = e_{n320} \cdot \sqrt{K_n \cdot f_c} = (7nV / \sqrt{Hz}) \cdot \sqrt{(1.57) \cdot (2.8MHz)} = 14.7\mu V_{rms} \text{ for a single ended input}$$

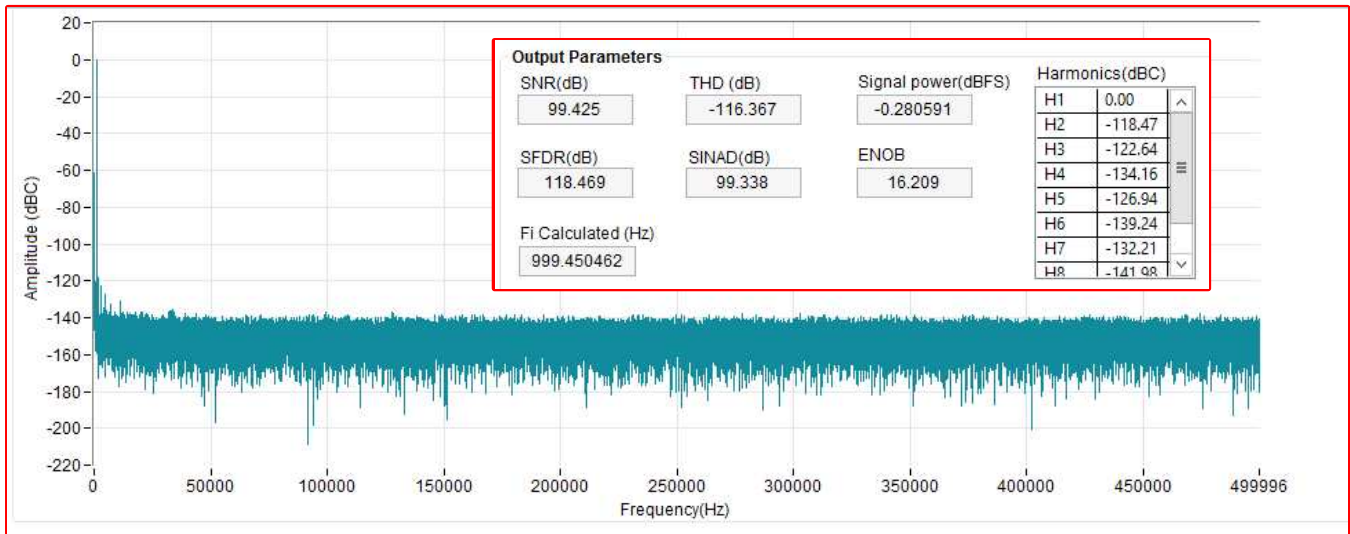
$$E_{n_tot} = \sqrt{E_{n_se}^2 + E_{n_se}^2} = \sqrt{(14.7\mu V)^2 + (14.7\mu V)^2} = 20.7\mu V \text{ rms Total noise for differential amplifier}$$

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、ADS8910BEVMに変更を加えて測定しました。AC性能はSNR=99.4dB、THD=-116.4dBであることを示しています。この件の詳細については、『[Introduction to Frequency Domain](#)』を参照してください。

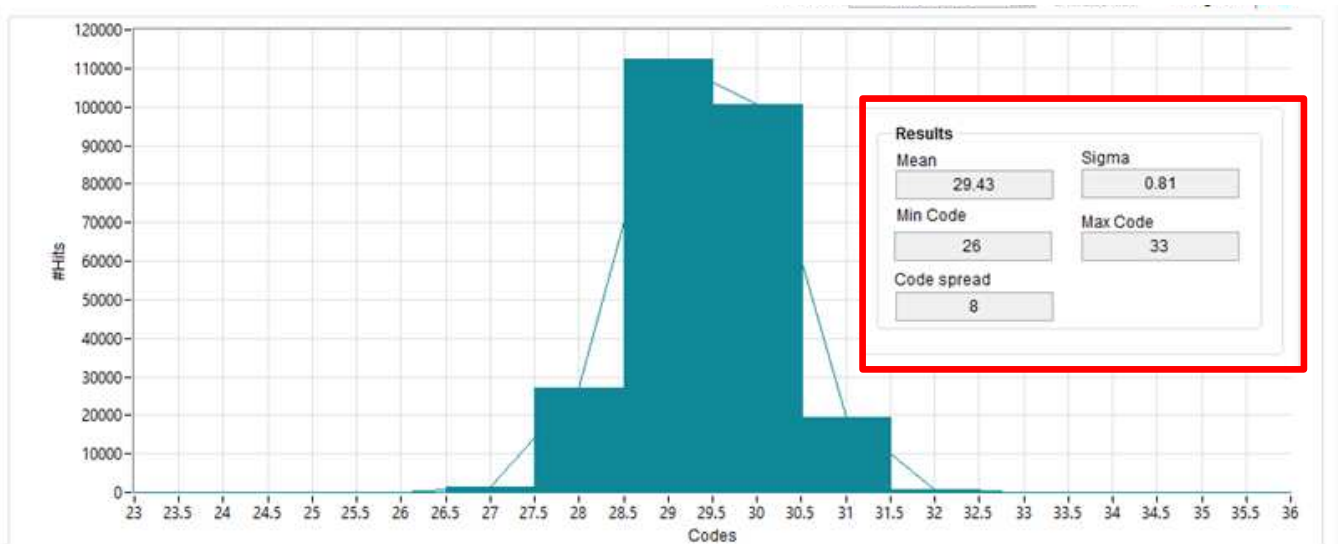


ノイズ測定

以下の測定結果はGNDに接続された2つの入力に関するものです。ヒストグラムはシステムのオフセットとノイズを示しています。コードの標準偏差をEVM GUIで求め(0.81)、これを用いて次の式に示すようにRMSノイズ(30.9μV rms)を計算できます。

$$LSB = \frac{FSR}{2^N} = \frac{10 \text{ V}}{2^{18}} = 38.14 \mu\text{V}$$

$$E_{n_measured} = E_{n\text{Sigma}} \cdot LSB = (0.81) \cdot (38.14 \mu\text{V}) = 30.9 \mu\text{Vrms}$$



使用デバイス

デバイス	主な特長	リンク	類似デバイス
ADS8900B⁽¹⁾	分解能: 18ビット、サンプル・レート: 1Msps、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	www.ti.com/product/ADS8900B	www.ti.com/adcs
OPA320⁽²⁾	帯域幅: 20MHz、レール・ツー・レール、ゼロ・クロスオーバー歪み、VosMax = 150 μ V、VosDriftMax = 5 μ V/°C、en = 7nV/rtHz	www.ti.com/product/OPA320	www.ti.com/opamp
REF5050⁽³⁾	ドリフト: 3ppm/°C、初期精度: 0.05%、ノイズ: 4 μ Vpp/V	www.ti.com/product/REF5050	www.ti.com/vref

- (1) ADS8910B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REF5050を直接接続できます。また REF5050 は、高精度 SAR ADC 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。OPA320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、1MspsのSARアプリケーションによく使用されています。さらに、クロスオーバー歪みのないレール・ツー・レール入力により、ADCの入力電圧範囲の大半にわたって線形振幅を実現します。
- (2) ADS8910B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REF5050を直接接続できます。また REF5050 は、高精度 SAR ADC 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。また、OPA320は十分な帯域幅を備えているため、1MspsのSARアプリケーションによく使用されています。
- (3) ADS8910B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REF5050を直接接続できます。また REF5050 は、高精度 SAR ADC 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。また、OPA320は十分な帯域幅を備えているため、1MspsのSARアプリケーションによく使用されています。

高電圧バッテリー・モニタに関する主要なファイルへのリンク

TIの総合的な回路ライブラリについては、「[アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)」を参照してください。

この回路の設計ファイル – <http://www.ti.com/lit/zip/sbac171>

改訂履歴

改訂内容	日付	変更
A	2019年1月	タイトルを大文字から普通の文字に変更、タイトルのロール内容を更新、回路クックブック・ライブラリのページへのリンクを追加

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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、または [ti.com](https://www.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。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated