

# Analog Engineer's Circuit

## 大電流バッテリー監視回路: 0A ~ 10A、0kHz ~ 10kHz、18 ビット



Luis Chioye

センス抵抗電流	INA Out、アンプ入力	ADC 入力	デジタル出力 ADS8910B
MinCurrent = ±50mA	Out = ±10mV	VoutDif = ±21.3mV	233 <sub>H</sub> 563 <sub>10</sub> 、3FDCB <sub>H</sub> -564 <sub>0</sub>
MaxCurrent = +10A	Out = ±2V	VoutDif = ±4.3V	1B851 <sup>H</sup> 112722 <sub>10</sub> 247AE <sub>H</sub> -112722 <sub>10</sub>

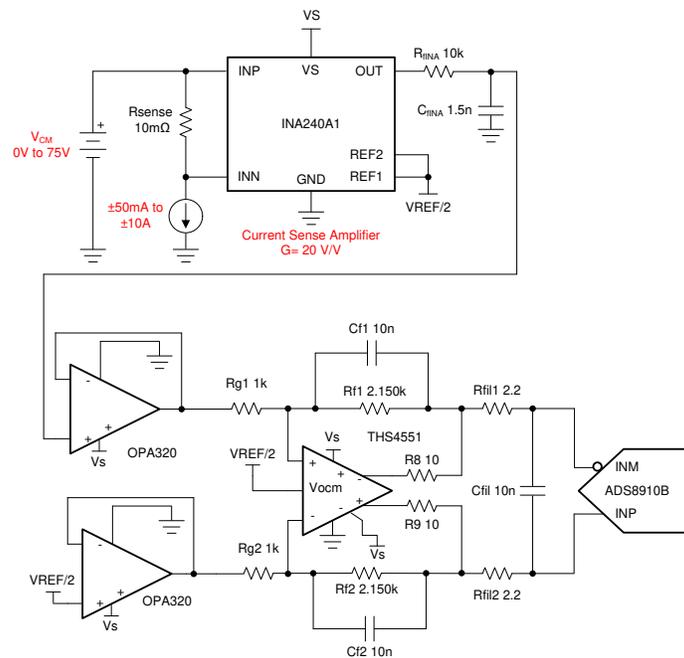
表 1-1. 電源およびリファレンス

Vs	Vee	Vref	Vcm
5.3V < Vs < 5.5V	0V	5V	2.5V

### 設計の説明

この単一電源電流センシングソリューションは、シャント抵抗の両端の ±50mA ~ ±10A の範囲の電流信号を測定できます。この電流センスアンプは、0V ~ 75V の広い同相電圧範囲にわたってシャント抵抗を測定できます。完全差動アンプ (FDA) はシングルエンドから差動への変換を実行し、1MSPS のフルデータレートでフルスケール ±5V の SAR ADC 差動入力を駆動します。「部品選定」の値を調整することで、さまざまな電流レベルを実現できます。

この回路は、バッテリー保守システム、バッテリーアナライザ、[バッテリーセル形成と試験装置](#)、[自動試験装置](#)、無線基地局のリモート無線ユニット (RRU) などの高精度電圧測定アプリケーションへの実装に適しています。



**表 1-2. 仕様**

誤差解析	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	> 1LSB > 38 $\mu$ V	6.6 $\mu$ V	該当なし
ADC 入力でのノイズ	221.8 $\mu$ V rms	207.3 $\mu$ V rms	227 $\mu$ V rms
帯域幅	10.6kHz	10.71kHz	10.71kHz

## デザイン ノート

1. 入力電流範囲と入力同相電圧の要件に基づいて、シャント センス抵抗値を決定し電流センス アンプを選択します。これについては「部品選定」で説明します。
2. 電流センス アンプの出力、ADC の入力電圧範囲 (FSR)、完全差動アンプの出力振幅の仕様に基づいて、完全差動アンプのゲインを決定します。これについては「部品選定」で説明します。
3. 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。
4. 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/ $^{\circ}$ C以下の薄膜抵抗を使用します。
5. 「TI プレジジョン ラボ」トレーニング 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、以下のリンク先をご覧ください。[誤差とノイズ](#)。
6. [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  $R_{\text{filt}}$  と  $C_{\text{filt}}$  を選択する方法について解説しています。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 フィルタを選択します。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、[『Introduction to SAR ADC Front-End Component Selection』](#)を参照してください。

## 電流センス回路の部品選定

1.  $R_{\text{sense}}$  抵抗を選択し、電流センス アンプ (双方向電流) のゲインを求めます。

$$R_{\text{sh}} = \frac{V_{\text{sh(max)}}}{I_{\text{load(max)}}} = \frac{100\text{mV}}{10\text{A}} = 0.01\Omega$$

$$\pm V_{\text{out(range)}} = \pm \frac{V_{\text{REF}}}{2} = \pm \frac{5\text{V}}{2} = \pm 2.5\text{V}$$

$$G_{\text{INA}} = \frac{\pm V_{\text{out(range)}}}{I_{\text{load(max)}} \times R_{\text{sh}}} = \frac{\pm 2.5\text{V}}{10\text{A} \times 0.01\Omega} = 25\text{V/V}$$

2. 電流センス アンプの出力範囲を計算します。

$$V_{\text{ina\_outmax}} = G_{\text{INA}} \times (I_{\text{load(max)}} \times R_{\text{sh}}) + \frac{V_{\text{ref}}}{2} = (20\text{V/V}) \times (10\text{A} \times 0.01\Omega) + \frac{5\text{V}}{2} = 4.5\text{V}$$

$$V_{\text{ina\_outmin}} = G_{\text{INA}} \times (I_{\text{load(max)}} \times R_{\text{sh}}) + \frac{V_{\text{ref}}}{2} = (20\text{V/V}) \times (-10\text{A} \times 0.01\Omega) + \frac{5\text{V}}{2} = 0.5\text{V}$$

3. ADC のフルスケール入力電圧範囲 (FSR) を求めます。

$$\text{ADC}_{\text{Full-Scale Range}} = \pm V_{\text{REF}} = \pm 5\text{V}$$

4. FDA の線形動作の最大/最小出力電圧を求めます。

$$0.23\text{V} < V_{\text{out}} < 4.77\text{V} \text{ from THS4551 output low/high specification for linear operation}$$

$$V_{\text{out\_FDA\_max}} = 4.77\text{V} - 0.23\text{V} = 4.54\text{V} \text{ Differential max output}$$

$$V_{\text{out\_FDA\_min}} = -V_{\text{out\_FDA\_max}} = -4.54\text{V} \text{ Differential min output}$$

5. ADC のフルスケール入力電圧範囲 (FSR)、FDA の出力電圧範囲、ステップ 3 の結果に基づいて差動ゲインを求めます。

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{out\_FDA\_max}} - V_{\text{out\_FDA\_min}}}{V_{\text{INA\_outmax}} - V_{\text{INA\_outmin}}} = \frac{4.54\text{V} - (-4.54\text{V})}{4.5\text{V} - 0.5\text{V}} = 2.77\text{V/V}$$

$$\text{Gain} \approx 2.15\text{V/V for margin}$$

6. 差動ゲインに応じて標準抵抗値を求めます。

$$\text{Gain}_{\text{FDA}} = \frac{R_f}{R_g} = 2.15\text{V/V}$$

$$\frac{R_f}{R_g} = 2.15\text{V/V} = \frac{2.15\text{k}\Omega}{1.00\text{k}\Omega} = 2.15\text{V/V}$$

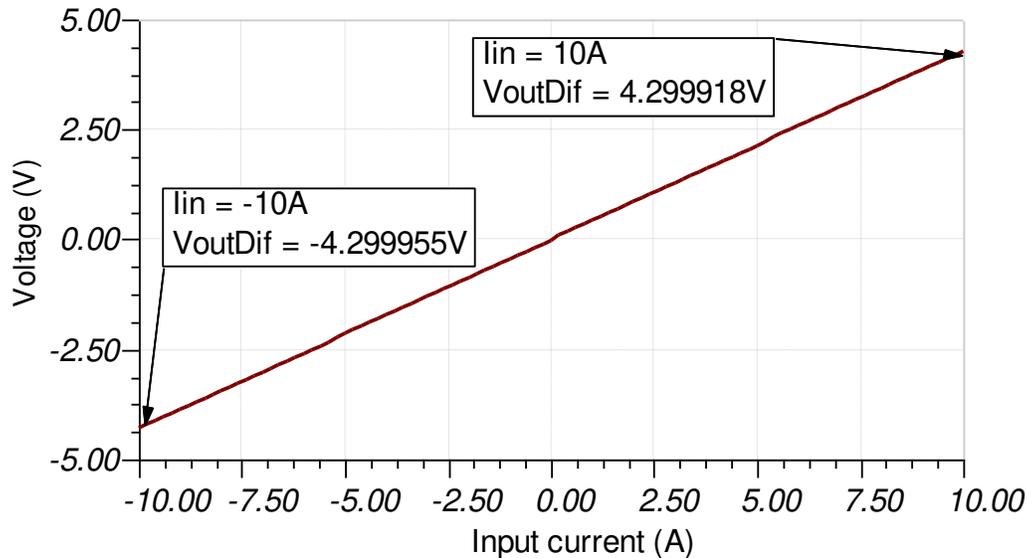
7. カットオフ周波数に応じて  $R_{\text{fINA}}$ 、 $C_{\text{fINA}}$  を求めます。

$$C_{\text{fINA}} = \frac{1}{2 \times \pi \times f_c \times R_{\text{fINA}}} = \frac{1}{2 \times \pi \times 10\text{kHz} \times 10\text{k}\Omega} = 1.591\text{nF or } 1.5\text{nF for standard value}$$

$$f_{\text{fina}} = \frac{1}{2 \times \pi \times C_{\text{fINA}} \times R_f} = \frac{1}{2 \times \pi \times 1.5\text{nF} \times 10\text{k}\Omega} = 10.6\text{kHz}$$

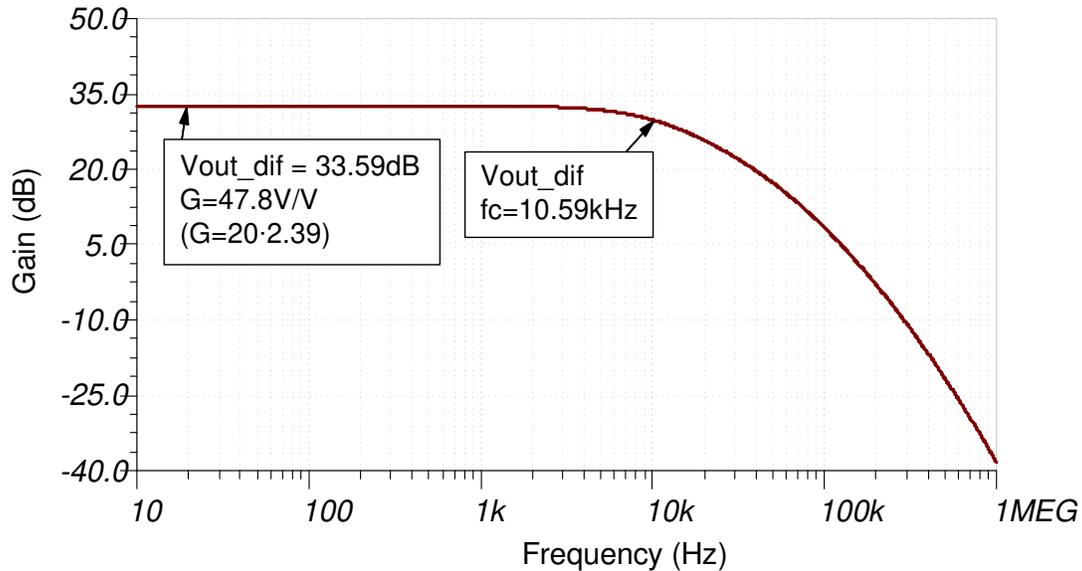
### 完全差動の DC 伝達特性

以下のグラフに、 $-10\text{A} \sim +10\text{A}$  の入力に対する出力の線形応答を示します。



### AC 伝達特性

帯域幅のシミュレーション結果は  $10.5\text{kHz}$  であり、ゲインは  $32.66\text{dB}$  (線形ゲインは  $43\text{V/V}$  ( $G = 20 \times 2.15\text{V/V}$ )) です。



### ノイズ シミュレーション

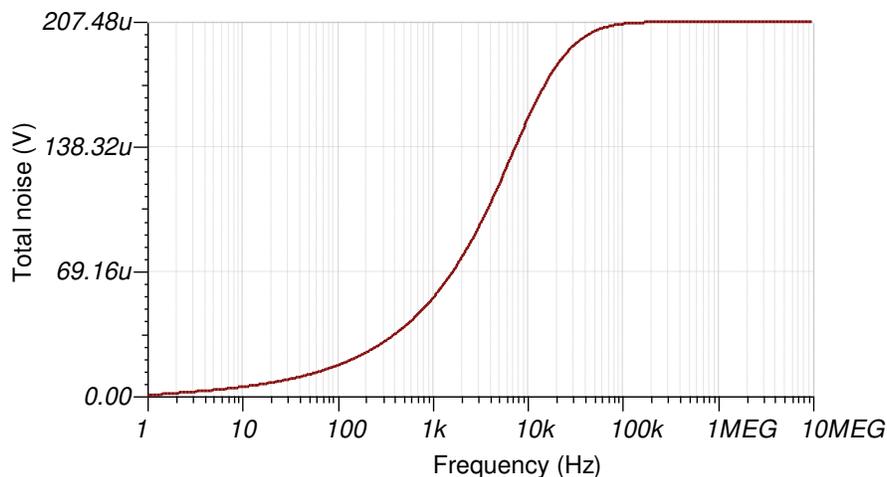
以下の簡易なノイズ計算は概算用です。電流センス アンプ INA240 が主要なノイズ源であるため、OPA320 バッファと THS4521 によるノイズは以下のノイズの概算では除外します。抵抗のノイズは 10.6kHz を超える周波数で減衰するため、この計算では無視します。

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R_{fINA} \times C_{fINA}} = \frac{1}{2\pi \times 10k\Omega \times 1.5nF} = 10.6kHz$$

$$E_{nINA240} = e_{nINA240} \times G_{INA} \times \sqrt{K_n \times f_c} = (40nV \div \sqrt{Hz}) \times (20V \div V) \times \sqrt{1.57 \times 10.6kHz} = 103.2\mu V$$

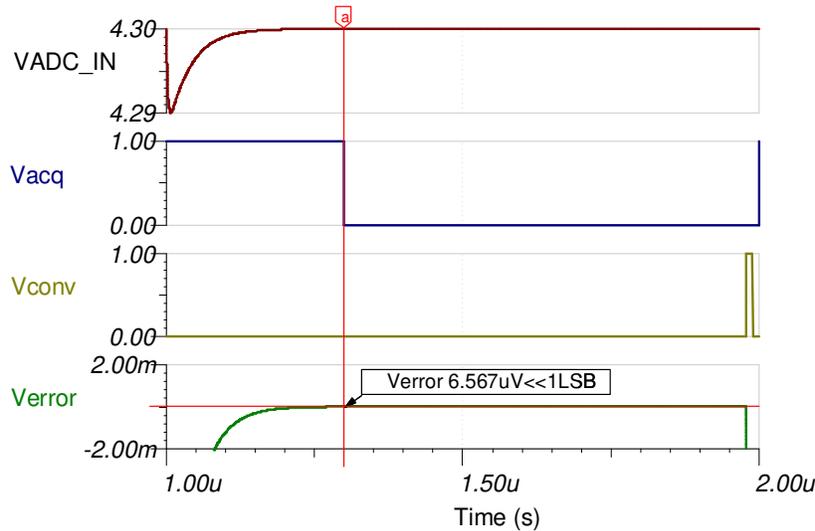
$$E_{nADCIN} = E_{nINA240} \times G_{FDA} = (103.2\mu V_{rms}) \times (2.15V/V) = 221.8\mu V_{rms}$$

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。アンプ ノイズの計算の詳細な理論については [ノイズ - ラボ](#) を、データ コンバータのノイズについては [ADC noise measurement, methods and parameters](#) 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に、DC 10A の入力信号のセトリングを示します (ADC 差動入力信号 +4.3V)。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。これに関する詳しい理論については、[Final SAR ADC Drive Simulations](#) 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
<a href="#">ADS8910B (1)</a>	分解能 18 ビット、サンプル レート 1MSPS、リファレンス バッファ搭載、完全差動入力、Vref 入力電圧範囲 2.5V~5V	<a href="#">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>	高精度 ADC
<a href="#">INA240</a>	ハイサイド/ローサイド、双方向、ゼロドリフト電流センスアンプ、ゲイン誤差 = 0.20%、ゲイン = 20V/V、広い同相電圧範囲 = -4V~80V	<a href="#">強化型 PWM 除去機能搭載、-4~80V、双方向、超高精度電流センスアンプ</a>	計測アンプ
<a href="#">THS4551</a>	完全差動アンプ (FDA)、帯域幅 150MHz、レール ツー レール出力、VosDriftMax = 1.8μV/°C、en = 3.3nV/rtHz	<a href="#">低ノイズ、高精度、150MHz 完全差動アンプ</a>	オペアンプ
<a href="#">OPA320</a>	帯域幅 20MHz、レール ツー レール、ゼロクロスオーバー歪み、VosMax = 150μV、VosDriftMax = 5μV/°C、en = 7nV/rtHz	<a href="#">高精度、ゼロクロスオーバー、20MHz、0.9pA Ib、RRIO、CMOS オペアンプ</a>	オペアンプ
<a href="#">REF5050</a>	ドリフト 3 ppm/°C、初期精度 0.05%、ノイズ 4μVpp/V	<a href="#">5V、3μVpp/V のノイズ、3ppm/°C のドリフト、高精度シリーズリファレンス電圧</a>	シリーズ電圧リファレンス電圧

- (1) ADS8910B にはリファレンス バッファが内蔵されているため、バッファなしで REF5050 と直接接続できます。また REF5050 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。INA240 は、電流センシング ソリューションで広い同相電圧範囲と低いゲイン誤差を実現します。THS4551 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 によく使用されます。OPA320 は、FDA の入力の残留電荷キックバックから INA240 を絶縁するためが必要です。

### 主要なファイルへのリンク

テキサス・インスツルメンツ、[ADS8900B 設計ファイル](#)、ソフトウェア サポート

### 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