

## Analog Engineer's Circuit

## MSP430™ スマート アナログ コンボを使用した、ハイサイド電流センシング回路の設計



Luis Reynoso

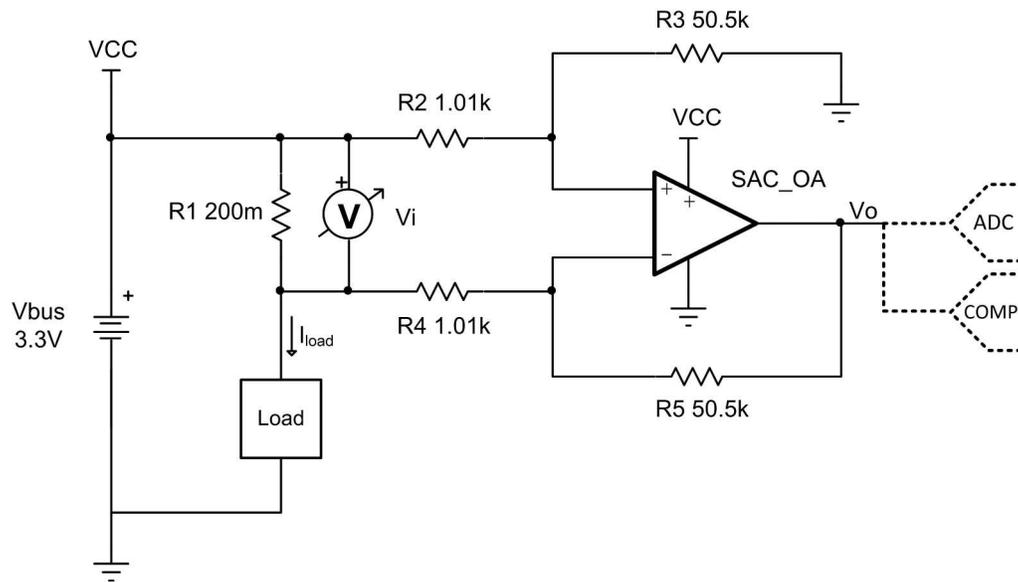
## 設計目標

入力		出力		電源	
$I_{iMin}$	$I_{iMax}$	$V_{oMin}$	$V_{oMax}$	$V_{cc}$	$V_{ee}$
25mA	300mA	0.25 V	3 V	3.3 V	0 V

## 設計の説明

一部の MSP430™ マイコン (MCU) は、オペアンプ、DAC、プログラマブル ゲイン段など、構成可能な統合型信号チェーン要素を内蔵しています。これらの要素は、スマート アナログ コンボ (SAC) というペリフェラルを形成しています。さまざまな種類の SAC の詳細や、構成可能アナログ シグナル チェーン機能を活用する方法については、『MSP430 マイコンのスマート アナログ コンボトレーニング』をご覧ください。設計を開始するには、[ハイサイド電流センシング回路の設計ファイル](#)をダウンロードしてください。

この単一電源、ハイサイド、低コストの電流センシング オプションは、25mA~300mA の負荷電流を検出し、0.25V~3V の出力電圧に変換します。ハイサイドのセンシングにより、システムはグラウンドへの短絡を識別でき、負荷にグラウンド外乱は発生しません。この回路は、MSP430FR2311 SAC\_L1 オペアンプを汎用 (GP) モードで使用し、OAx+ と OAx- を非反転および反転の入力専用にします。MSP430FR2355 を使用して、同じアプローチを実装することもできます。このマイコンは、4 個の SAC\_L3 ペリフェラルを搭載しているほか、追加の DAC と PGA 機能を内蔵しています。この内蔵 SAC オペアンプの出力を、オンボード ADC を使用して直接サンプリングすること、またはオンボード コンパレータを使用して監視したうえでマイコン内部でさらに処理を進めることもできます。



## デザインノート

- DC 同相除去率 (CMRR) 性能は、ゲイン設定抵抗  $R_2 \sim R_5$  のマッチングに依存します。
- シャント抵抗を増やすと、消費電力も増加します。
- 同相電圧がアンプの線形入力動作領域内であることを確認します。同相電圧は、 $R_2$ 、 $R_3$ 、およびバス電圧で構成される抵抗分圧器で設定します。このアプリケーションでは、抵抗分圧器で決定される同相電圧によっては、レールツーレール入力 (RRI) アンプが必要でない場合もあります。
- 低ゲインまたは減衰構成では、同相電圧範囲が  $V_{CC}$  に達しないオペアンプを使用できます。
- 帰還抵抗と並列にコンデンサを配置することで、帯域幅が制限され、安定性が向上し、ノイズが低減されます。
- オペアンプは線形出力動作領域で使用します。線形出力スイングは通常、 $A_{OL}$  テスト条件に規定されています。
- **MSP430FR2311 SAC\_L1** または **MSP430FR2355 SAC\_L3** を使用してプロセスを実装する場合は、オペアンプを汎用モードに構成する必要があります。
- **MSP430FR2311 TIA** を使用してプロセスを実装する場合は、入力電圧範囲は  $V_{CC}/2$  に制限されるため、それに応じてゲインまたは範囲を調整する必要があります。
- [ハイサイド電流センシング回路の設計ファイル](#) には、**SAC** ペリフェラルを適切に初期化する方法を示すサンプルコードが付属しています。

## 設計手順

1. この回路の完全な伝達関数は次のとおりです。

$$V_o = I_{in} \times R_1 \times \frac{R_5}{R_4}$$

$$\text{Given } R_2 = R_4 \text{ and } R_3 = R_5$$

2. 最大シャント抵抗を計算します。シャントの両端の最大電圧を **60mV** に設定します。

$$R_1 = \frac{V_{iMax}}{I_{iMax}} = \frac{60mV}{300mA} = 200m\Omega$$

3. 最大出力スイング範囲を設定するため、ゲインを計算します。

$$\text{Gain} = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{(I_{iMax} - I_{iMin}) \times R_1} = \frac{3V - 0.25V}{(0.3A - 0.025A) \times 200m\Omega} = 50 \frac{V}{V}$$

4. 手順 3 で計算したゲインを設定するため、ゲイン設定抵抗の値を計算します。

$$\text{Choose } R_2 = R_4 = 1.01k\Omega \text{ (Standard value)}$$

$$R_3 = R_5 = R_2 \times \text{Gain} = 1.01k\Omega \times 50 \frac{V}{V} = 50.5k\Omega \text{ (Standard value)}$$

5. アンプの同相電圧を計算して線形動作を確認します。

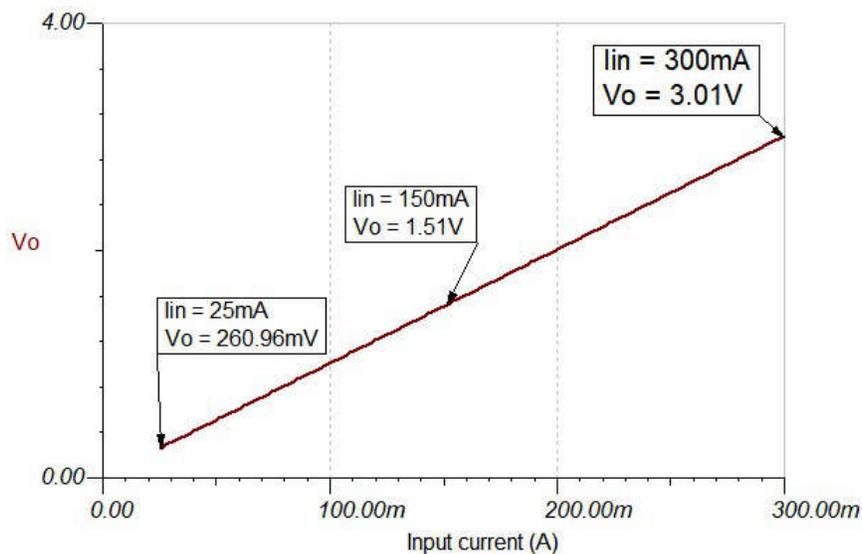
$$V_{cm} = V_{CC} \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 3.3V \times \frac{50.5k}{1.01k + 50.5k} = 3.235V$$

6. 高域カットオフ周波数 ( $f_H$ ) は、回路の非反転ゲイン (ノイズゲイン) と、オペアンプのゲイン帯域幅 (GBW) により設定されます。

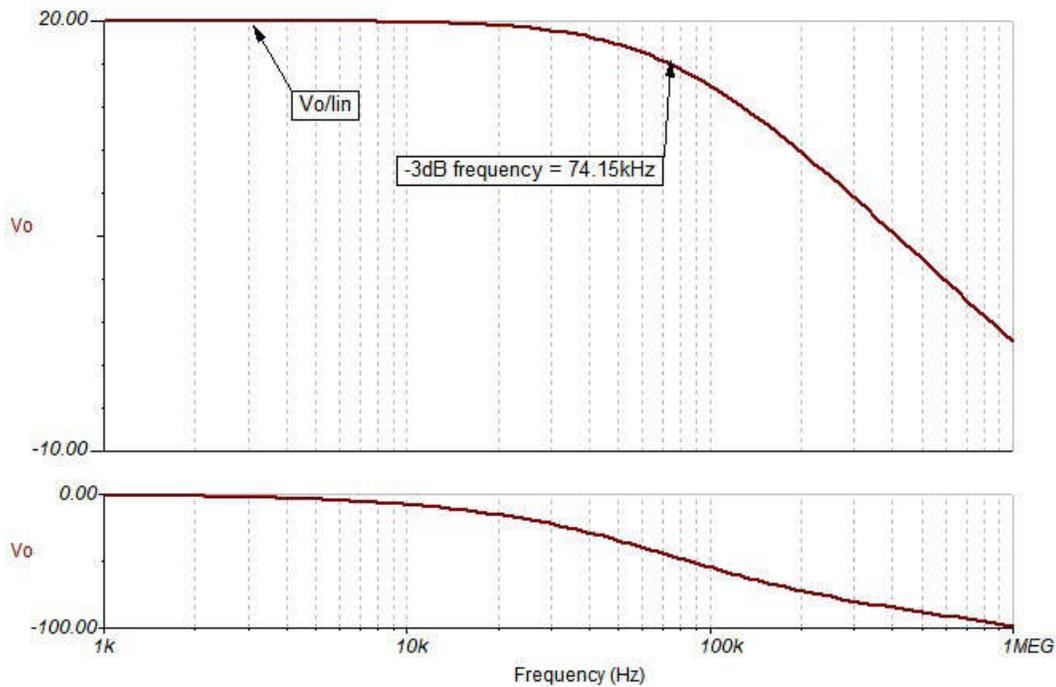
$$f_H = \frac{GBW}{\text{Noise Gain}} = \frac{4MHz}{51 \frac{V}{V}} = 78.43 \text{ kHz}$$

設計シミュレーション

DC シミュレーション結果



AC シミュレーション結果



## ターゲット アプリケーション

- [バッテリーパック:コードレス電動工具](#)
- [HEV/EV のバッテリー管理システム \(BMS\)](#)
- [モータードライブ](#)
- [照明器具](#)
- [エネルギー インフラ](#)

## 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、[ハイサイド電流センシング回路](#)、設計ファイル
2. テキサス・インスツルメンツ、[MSP430FR2311 TINA-TI SPICE モデル](#)、ファイル ダウンロード
3. テキサス・インスツルメンツ、『[MSP430 マイコンのスマート アナログ コンボ](#)』、トレーニングビデオ

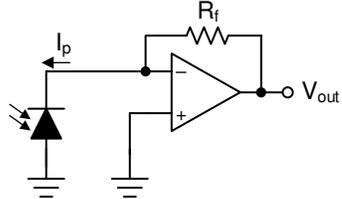
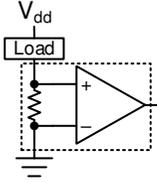
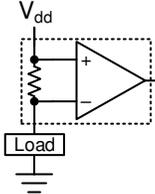
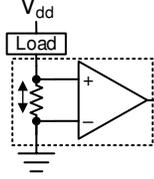
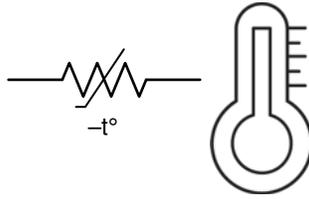
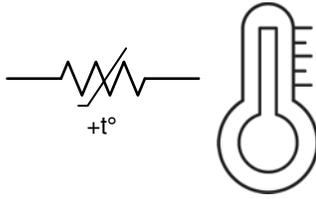
## 設計に使用されているオペアンプ

MSP430FRxx スマートアナログ コンボ		
	MSP430FR2311 SAC_L1	MSP430FR2355 SAC_L3
$V_{CC}$	2.0V~3.6V	
$V_{CM}$	-0.1V~ $V_{CC} + 0.1V$	
$V_{out}$	レール ツー レール	
$V_{os}$	±5mV	
$A_{OL}$	100 dB	
$I_q$	350μA (高速モード)	
	120μA (低消費電力モード)	
$I_b$	50pA	
UGBW	4MHz (高速モード)	2.8MHz (高速モード)
	1.4MHz (低消費電力モード)	1MHz (低消費電力モード)
SR	3V/μs (高速モード)	
	1V/μs (低消費電力モード)	
チャンネル数	1	4
	<a href="#">MSP430FR2311</a>	<a href="#">MSP430FR2355</a>

## 設計の代替オペアンプ

MSP430FR2311 トランスインピーダンス アンプ	
$V_{CC}$	2.0V~3.6V
$V_{CM}$	-0.1V~ $V_{CC}/2V$
$V_{out}$	レール ツー レール
$V_{os}$	±5mV
$A_{OL}$	100 dB
$I_q$	350μA (高速モード)
	120μA (低消費電力モード)
$I_b$	5pA (TSSOP-16、OA 専用ピン入力付き)
	50pA (TSSOP-20 および VQFN-16)
UGBW	5MHz (高速モード)
	1.8MHz (低消費電力モード)
SR	4V/μs (高速モード)
	1V/μs (低消費電力モード)
チャンネル数	1
	<a href="#">MSP430FR2311</a>

関連 MSP430 回路

<p>低ノイズ、長距離の PIR センサコンディショナー回路</p> 	<p>ブリッジアンプ回路</p> 	<p>トランスインピーダンスアンプ回路</p> 
<p>単一電源、ローサイド、単方向電流センシング回路</p> 	<p>ディスクリート差動アンプ回路搭載ハイサイド電流センシング</p> 	<p>ローサイド双方向電流センシング回路</p> 
<p>半波整流回路</p> 	<p>NTC サーミスタ回路搭載温度センシング</p> 	<p>PTC サーミスタ回路搭載温度センシング</p> 

商標

MSP430™ is a trademark of Texas Instruments.  
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 B (March 2020) to Revision C (October 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 A (November 2019) to Revision B (March 2020)** **Page**

- 「関連する MSP430 回路」セクションを追加 ..... 1

**Changes from Revision \* (November 2019) to Revision A (November 2019)** **Page**

- 「設計ノート」のサーミスタ回路に関する記述を削除..... 1

## 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