

## Analog Engineer's Circuit

## MSP430™ スマート アナログ コンボ搭載、ローサイド双方向電流センシング回路



Mitch Ridgeway

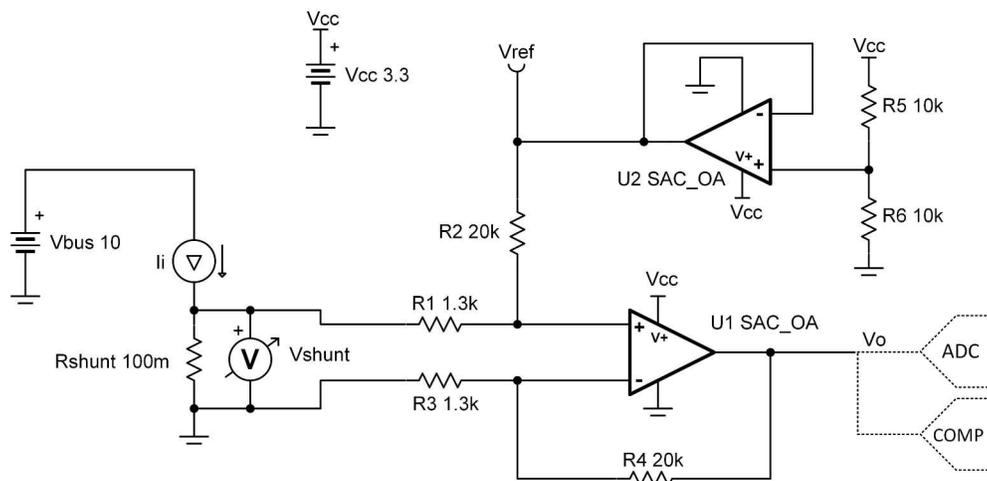
## 設計目標

入力		出力		電源	
$I_{iMin}$	$I_{iMax}$	$V_{oMin}$	$V_{oMax}$	$V_{cc}$	$V_{ref}$
-1A	1A	100 mV	3.2 V	3.3 V	1.65 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、構成可能な統合型シグナル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、ローサイド双方向電流センシング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、ローサイド、双方向電流センシング方法は、-1A~1A の負荷電流を正確に検出できます。出力のニアな動作範囲は 100mV ~ 3.2V です。ローサイド電流センシングにより、同相電圧がグランド近くに維持されるため、バス電圧の高いアプリケーションで最も有用です。このデザインは、MSP430FR2355 マイコン内にある 4 個の統合型オペアンプブロック (SAC) のうち 2 個を活用します。SAC\_L3 ペリフェラルの 1 つは、シャント抵抗の両端間の電圧を増幅する汎用オペアンプとして構成済み、もう 1 つはバイアス電圧 (Vref) を供給するバッファとして構成済みです。後者の SAC\_L3 ブロックは、Vref を供給するように DAC バッファモードに構成することもでき、その場合は外部の電圧デバイダを置き換えることになります。この回路の出力を、MSP430FR2355 マイコン内の他の統合型ペリフェラルに内部または外部で接続することができます。たとえば、A/D コンバータ (ADC) ウィンドウ コンパレータは (CPU を経由せずに) この出力を定期的にサンプリングし、信号がスレッショルドをまたいで範囲外になったときに割り込みをトリガすることができます。



## デザインノート

- 誤差を最小化するため、 $R_3 = R_1$  かつ  $R_4 = R_2$  に設定します。
- 高い精度を実現するため、高精度の抵抗を使用します。
- リニア出力スイングに基づいて出力範囲を設定します ( $A_{ol}$  の仕様を参照)。
- ローサイドセンシングは、システムの負荷が小さなグラウンド外乱に耐えられないようなアプリケーションや、負荷の短絡を検出する必要があるアプリケーションでは使用しないでください。
- 上記の回路図では、MSP430FR2355 マイコンの最初の SAC\_L3 ペリフェラル (U1) を汎用モードに構成しています。2番目の SAC\_L3 ペリフェラル (U2) も汎用モードに構成されていますが、外部分圧器を使用します。
- $V_{ref}$  の供給には、外部分圧器回路を使用する代わりに、U2 の DAC バッファ構成 (ローサイド双方向電流センシングの設計ファイルのサンプルコードを参照) を使用します。
- このオプションは、MSP430FR2311 デバイスを使用して実装することもできます。この場合、U1 に内部トランスインピーダンスアンプを使用し、U2 に SAC\_L1 オペアンプを使用します。
- ローサイド双方向電流センシング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

- $R_4 = R_2$ 、 $R_1 = R_3$  のときの伝達方程式を求めます。

$$V_o = \left( I_i \times R_{shunt} \times \frac{R_4}{R_3} \right) + V_{ref}$$

$$V_{ref} = V_{cc} \times \left( \frac{R_6}{R_5 + R_6} \right)$$

- 最大シャント抵抗を決定します。

$$R_{shunt} = \frac{V_{shunt}}{I_{imax}} = \frac{100mV}{1 A} = 100m\Omega$$

- 基準電圧を設定します。入力電流範囲は対称形なため、基準電圧は電源電圧の 1/2 に設定します。このため、 $R_5$  と  $R_6$  は同じ値にします。

$$R_5 = R_6 = 10k\Omega$$

- オペアンプの出力スイングに基づいて、差動アンプのゲインを設定します。オペアンプの出力は、電源が 3.3V の場合 100mV~3.2V までスイングできます。

$$Gain = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{R_{shunt} \times (I_{iMax} - I_{iMin})} = \frac{3.2V - 100mV}{100m\Omega \times (1 A - (-1 A))} = 15.5 \frac{V}{V}$$

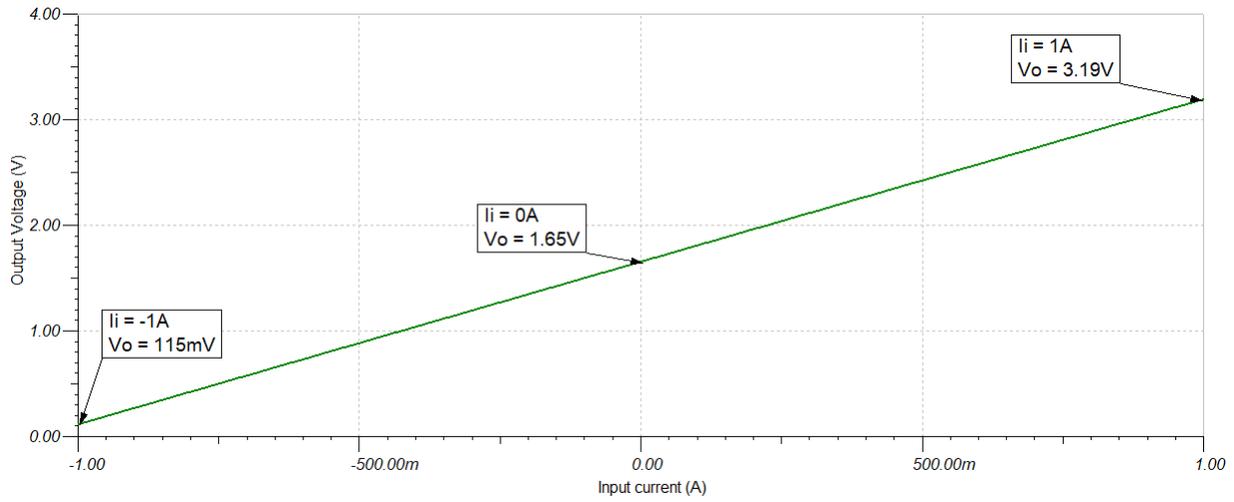
$$Gain = \frac{R_4}{R_3} = 15.5 \frac{V}{V}$$

$$\text{Choose } R_1 = R_3 = 1.3k\Omega \text{ (Standard Value)}$$

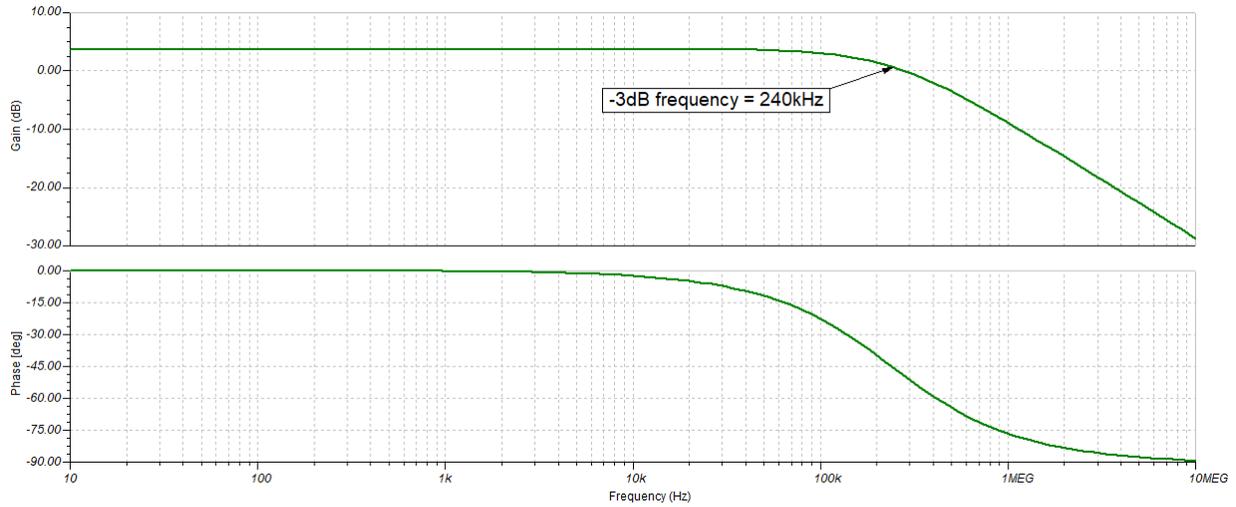
$$R_2 = R_4 = 15.5 \frac{V}{V} \times 1.3k\Omega = 20.15 k\Omega \approx 20k\Omega \text{ (Standard Value)}$$

## 設計シミュレーション

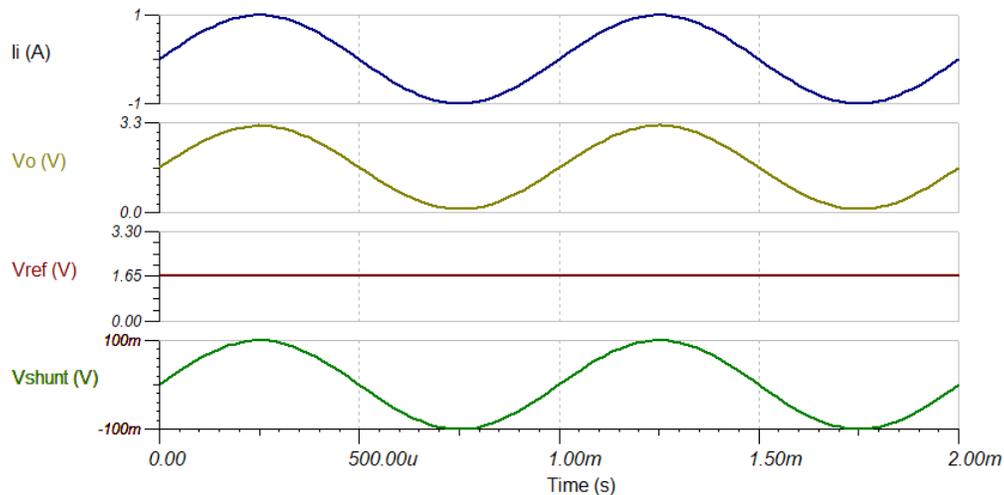
### DC シミュレーション結果



### 閉ループの AC シミュレーション結果



### 過渡シミュレーション結果



## ターゲット アプリケーション

- [モーター ドライブ](#)
- [サーボドライブ機能安全モジュール](#)
- [電池充電](#)
- [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 \(BMS\)](#)

## 設計の参照資料

1. テキサス・インスツルメンツ、[MSP430 ローサイド双方向電流センシング回路](#)、サンプル コードと SPICE シミュレーション ファイル
2. テキサス・インスツルメンツ、[3.75KB FRAM](#)、[オペアンプ](#)、[TIA](#)、[コンパレータと DAC](#)、[10 ビット ADC 搭載](#)、[16MHz アナログ統合マイコン](#)、製品ページ
3. テキサス・インスツルメンツ、[『MSP430 MCU スマート アナログ コンボトレーニング』](#)、ビデオ

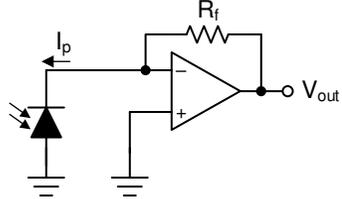
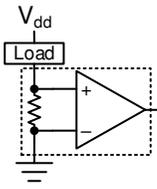
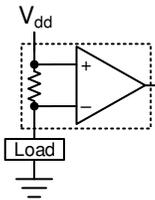
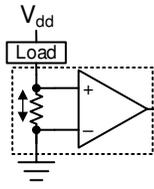
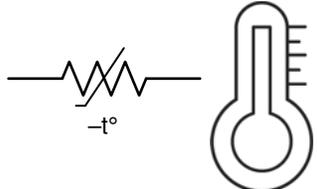
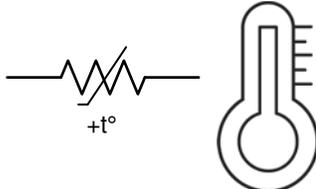
## 設計に使用されているオペアンプ

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
MSP430FR2311	

## 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

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

- 「関連する MSP430 回路」セクションを追加 ..... 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