

Analog Engineer's Circuit

MSP430™ スマートアナログコンボを使用した、低ノイズで長距離対応の PIR センサコンディショナ回路



James Evans

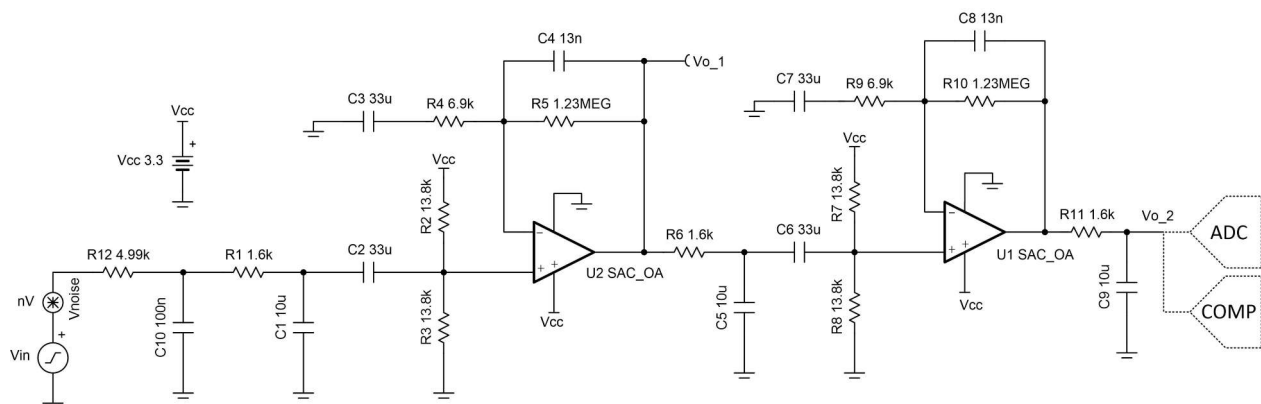
設計目標

AC ゲイン	フィルタのカットオフ周波数		電源	
90 dB	f_L	f_H	V_{CC}	V_{EE}
	0.7 Hz	10 Hz	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、構成可能な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、[低ノイズの長距離 PIR \(パッシブ赤外線\) センサコンディショナ回路の設計ファイル](#)をダウンロードしてください。

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。2 個の SAC_L3 ペリフェラルは、汎用モードのカスケード接続オペアンプとして構成済みであり、パッシブ赤外線 (PIR) センサからの信号を増幅およびフィルタ処理します。この回路は、回路の出力でノイズを低減することを目的とする複数のローパスフィルタとハイパスフィルタを搭載しており、離れた距離で動作を検出し、誤トリガ (人などが接近したときに装置が動作するはずが、誰もいないときに動作する) を減らすことができます。この回路内の 2 段目にあるオペアンプの出力を、[MSP430FR2355](#) マイコン内の他の内蔵ペリフェラルに内部または外部から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、信号がスレッシュホー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し、動作が発生したと通知すること、またはアラートを生成することができます。



デザインノート

- 同相電圧と出力バイアス電圧は、 R_2 と R_3 (および R_7 と R_8) の間の抵抗分圧器を使用して設定します。
- 十分なループゲインを確保するには、2 つ以上のアンプ段を使用する必要があります。
- ノイズをさらに減らすため、ローパスおよびハイパスフィルタを追加することもできます。

- コンデンサ C_4 および C_8 は、回路の帯域幅を狭くすることでノイズをフィルタ処理し、アンプの安定に役立ちます。
- アンプの総合積分ノイズを減らすには、アンプの出力に RC フィルタ (例: R_6 と C_5) が必要です。
- 回路の最大ゲインは、フィルタのカットオフ周波数の影響を受けることがあります。目的のゲインが得られるように、カットオフ周波数を調整します。
- この設計では、**MSP430FR2355** MCU 内の 2 つの SAC_L3 ペリフェラルを汎用モードのカスケード接続オペアンプとして構成しています。
- この設計は、**MSP430FR2311** MCU 内のトランスインピーダンス アンプ (TIA) と SAC_L1 ペリフェラルをカスケード接続オペアンプとして使うことで、実装することもできます。しかし、TIA の最大入力電圧が $V_{CC}/2$ に制限されているため、それに従って同相電圧とゲインが制限されます。
- **低ノイズの長距離 PIR (パッシブ赤外線) センサ コンディショナ回路の設計ファイル**には、**MSP430FR2355** MCU 内の SAC_L3 および ADC ウィンドウ コンパレータ ペリフェラルを適切に構成する方法を示したサンプル コードが含まれています。

設計手順

1. ローパス フィルタ用に大きな値のコンデンサ C_1 、 C_5 、 C_9 を選択します。値の大きなコンデンサは、標準抵抗値と比べて限られた標準値しか選択できないため、これらのコンデンサを最初に選択します。

$$C_1 = C_5 = C_9 = 10\mu\text{F}$$

2. ローパス フィルタを構成する R_1 、 R_6 、 R_{11} の抵抗値を計算します。

$$R_1 = R_6 = R_{11} = \frac{1}{2\pi \times f_H \times C_1} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 10\mu\text{F}} = 1.592\text{k}\Omega$$

Choose $R_1 = R_6 = R_{11} = 1.6\text{k}\Omega$ (Standard value)

3. ハイパス フィルタのコンデンサ C_2 、 C_3 、 C_6 、 C_7 の値を選択します。

$$C_2 = C_3 = C_6 = C_7 = 33\mu\text{F}$$

4. ハイパス フィルタを構成する R_4 および R_9 の抵抗値を計算します。

$$R_4 = R_9 = \frac{1}{2\pi \times f_L \times C_2} = \frac{1}{2\pi \times 0.7\text{Hz} \times 33\mu\text{F}} = 6.89\text{k}\Omega$$

Choose $R_4 = R_9 = 6.9\text{k}\Omega$ (Standard value)

5. 分圧器を使用して、アンプの同相電圧を電源電圧の 1/2 に設定します。ハイパス フィルタのコーナー周波数を正しく設定するため、分圧器の等価抵抗は R_4 と等しくします。

$$R_2 = R_3 = R_7 = R_8 = 2 \times R_4 = 2 \times 6.9\text{k}\Omega = 13.8\text{k}\Omega$$

Choose $R_2 = R_3 = R_7 = R_8 = 13.8\text{k}\Omega$ (Standard value)

6. 必要な総合ゲインを得るため、各ゲイン段に必要なゲインを計算します。回路の総合ゲインの目標値を、両方のゲイン段に均等に割り当てます。

$$\text{Gain} = \frac{90\text{dB}}{2} = 45\text{dB} = 177.828\frac{\text{V}}{\text{V}}$$

7. 最初の段のゲインを設定するため、 R_5 の値を計算します。

$$R_5 = (\text{Gain} - 1) \times R_4 = (177.828\frac{\text{V}}{\text{V}} - 1) \times 6.9\text{k}\Omega = 1.22\text{M}\Omega$$

Choose $R_5 = 1.23\text{M}\Omega$ (Standard value)

8. ローパス フィルタのカットオフ周波数を設定するため、 C_4 を計算します。

$$C_4 = \frac{1}{2\pi \times f_H \times R_5} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 1.23\text{M}\Omega} = 12.939\text{nF}$$

Choose $C_4 = 13\text{nF}$ (Standard value)

9. 最初のゲイン段のゲインおよびカットオフ周波数は 2 番目のゲイン段と等しいため、両方の段ですべての部品値を等しくします。

$$\begin{aligned} R_1 &= R_6 = 1.6\text{k}\Omega \\ R_7 &= R_8 = 13.8\text{k}\Omega \\ R_9 &= R_4 = 6.9\text{k}\Omega \\ R_{10} &= R_5 = 1.23\text{M}\Omega \\ C_8 &= C_4 = 13\text{nF} \end{aligned}$$

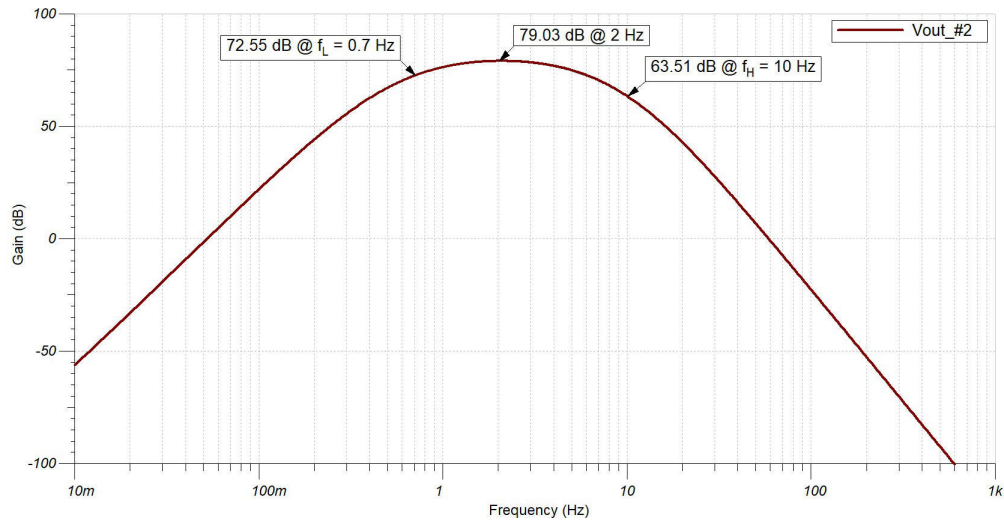
10. 回路の出力に置くローパスフィルタのカットオフ周波数を設定するため、 R_{11} を計算します。

$$R_{11} = \frac{1}{2\pi \times f_H \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{Hz} \times 10\mu\text{F}} = 1.592\text{k}\Omega$$

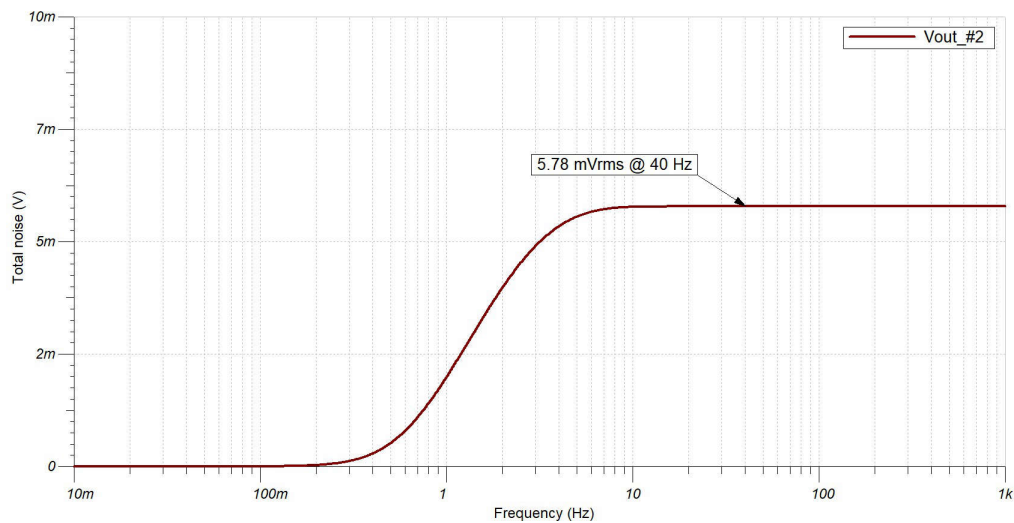
Choose $R_{11} = 1.6\text{k}\Omega$ (Standard value)

設計シミュレーション

AC シミュレーション結果



ノイズのシミュレーション結果



ターゲット アプリケーション

- [モーション検出器](#)
- [在室検出 \(人物追跡、人数計測\)](#)
- [ビルオートメーション](#)
- [IP ネットワーク カメラ](#)
- [照明センサ](#)
- [サーモスタット](#)
- [ビデオドアベル](#)

参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、[低ノイズの長距離 PIR \(パッシブ赤外線\) センサ コンディショナ回路、設計ファイル](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、[3.75KB FRAM、オペアンプ、TIA \(トランスインピーダンス アンプ\)、コンパレータと DAC、10 ビット ADC 搭載、16MHz アナログ内蔵マイコン、製品ページ](#)
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 コンボを使用する方法](#)』、アプリケーション レポート
4. 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



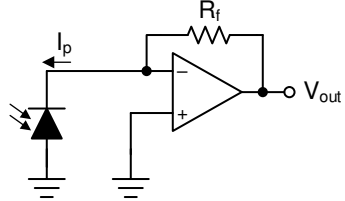
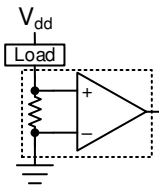
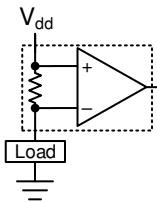
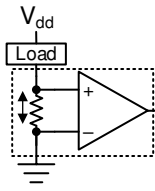

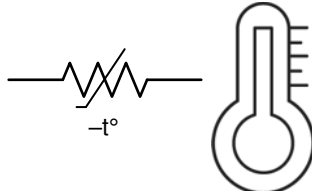
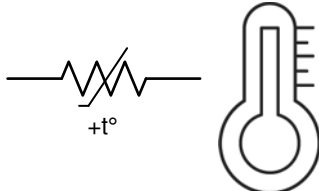
設計に使用されているオペアンプ

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	
AOL	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
	MSP430FR2311	MSP430FR2355

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

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 A (February 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 * (December 2019) to Revision A (February 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