

Analog Engineer's Circuit

単一電源、ローサイド、単方向電流センシング回路



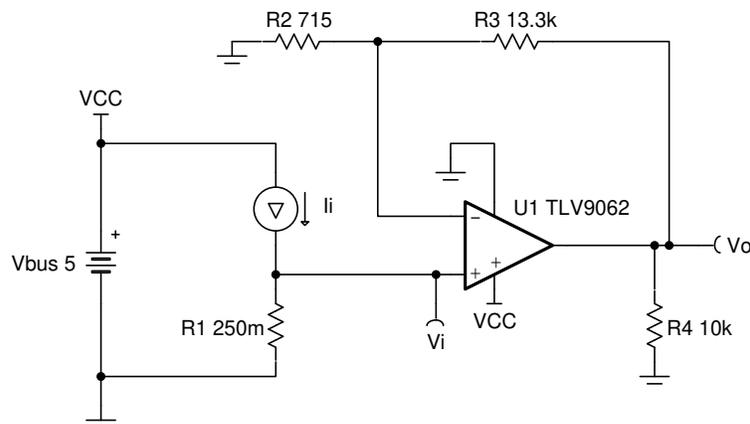
Pete Semig

設計目標

入力		出力		電源		フルスケール範囲エラー
I_{iMax}	V_{iMax}	V_{oMin}	V_{oMax}	V_{cc}	V_{ee}	FSR_{Error}
1A	250mV	50mV	4.9V	5V	0V	0.2%

設計の説明

この単一電源、ローサイドの電流センシングソリューションは、最大 **1A** の負荷電流を正確に検出し、**50mV~4.9V** の電圧に変換します。入力電流範囲と出力電圧範囲は必要に応じてスケーリングでき、大きなスイングに対応するため、より高電圧の電源も使用できます。



デザインノート

1. オペアンプの線形出力動作範囲内で使用してください。この範囲は通常、テスト条件に規定されています。
2. 同相電圧は入力電圧と同じです。
3. シャント抵抗と帰還抵抗の公差により、回路のゲイン誤差が決定されます。
4. 安定性の問題を最小限に抑えるため、アンプの出力に容量性の負荷を直接配置することは避けてください。
5. 出力が **GND** にスイングしたことでゼロ電流の検出を試みる場合、**0V** 付近の出力信号の線形性を維持するため、負電源として負のチャージポンプ (**LM7705** など) をこの設計で使用できます。詳細については、「[GND までの出力スイング回路を搭載した、単一電源、ローサイド、単方向の電流センシングソリューション](#)」アナログ エンジニア向け回路を参照してください。
6. 値の大きい抵抗を使用すると、回路の位相マージンが劣化し、回路に余計なノイズが発生することがあります。
7. この回路の小信号帯域幅は、回路のゲインと、アンプのゲイン帯域幅積 (**GBP**) で決まります。
8. **R₃** と並列にコンデンサを追加すると、フィルタ処理を実現できます。また、**R₃** と並列にコンデンサを追加することで、値の大きい抵抗を使用したときの回路の安定性も向上します。
9. オペアンプの線形動作領域、安定性、容量性負荷の駆動、**ADC** の駆動、および帯域幅の詳細については、「[関連資料](#)」のセクションを参照してください。

設計手順

この回路の伝達関数を次に示します。

$$V_o = I_i \times R_1 \times \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)$$

- フルスケール シャント電圧を定義し、最大シャント抵抗を計算します。

$$V_{iMax} = 250 \text{ mV} \quad \text{at} \quad I_{iMax} = 1 \text{ A}$$

$$R_1 = \frac{V_{iMax}}{I_{iMax}} = \frac{250 \text{ mV}}{1 \text{ A}} = 250 \text{ m}\Omega$$

- 最大線形出力電圧に必要なゲインを計算します。

$$V_{iMax} = 250 \text{ mV} \quad \text{and} \quad V_{oMax} = 4.9 \text{ V}$$

$$\text{Gain} = \frac{V_{oMax}}{V_{iMax}} = \frac{4.9 \text{ V}}{250 \text{ mV}} = 19.6 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

- R_2 と R_3 の標準抵抗値を選択します。

[アナログ技術者向けカリキュレータ](#)で、「Find Amplifier Gain」(アンプのゲインを求める)を使用し、ゲイン比 19.6 を入力して抵抗値を計算します。

$$R_2 = 715\Omega \text{ (0.1\% 標準抵抗値)}$$

$$R_3 = 13.3\text{k}\Omega \text{ (0.1\% 標準抵抗値)}$$

- 出力のスイング ツー レール制限に達する前の最小入力電流を計算します。 I_{iMin} は、正確に検出可能な最小入力電流を表します。

$$V_{oMin} = 50 \text{ mV}; \quad R_1 = 250 \text{ m}\Omega$$

$$V_{iMin} = \frac{V_{oMin}}{\text{Gain}} = \frac{50 \text{ mV}}{19.6 \frac{\text{V}}{\text{V}}} = 2.55 \text{ mV}$$

$$I_{iMin} = \frac{V_{iMin}}{R_1} = \frac{2.55 \text{ mV}}{250 \text{ m}\Omega} = 10.2 \text{ mA}$$

- フルスケール範囲誤差と相対誤差を計算します。 V_{os} は、データシートに記載されている標準のオフセット電圧です。

$$\text{FSR}_{\text{error}} = \left(\frac{V_{os}}{V_{iMax} - V_{iMin}}\right) \times 100 = \left(\frac{0.3 \text{ mV}}{247.45 \text{ mV}}\right) \times 100 = 0.121 \%$$

$$\text{Relative Error at } I_{iMax} = \left(\frac{V_{os}}{V_{iMax}}\right) \times 100 = \left(\frac{0.3 \text{ mV}}{250 \text{ mV}}\right) \times 100 = 0.12 \%$$

$$\text{Relative Error at } I_{iMin} = \left(\frac{V_{os}}{V_{iMin}}\right) \times 100 = \left(\frac{0.3 \text{ mV}}{2.5 \text{ mV}}\right) \times 100 = 12 \%$$

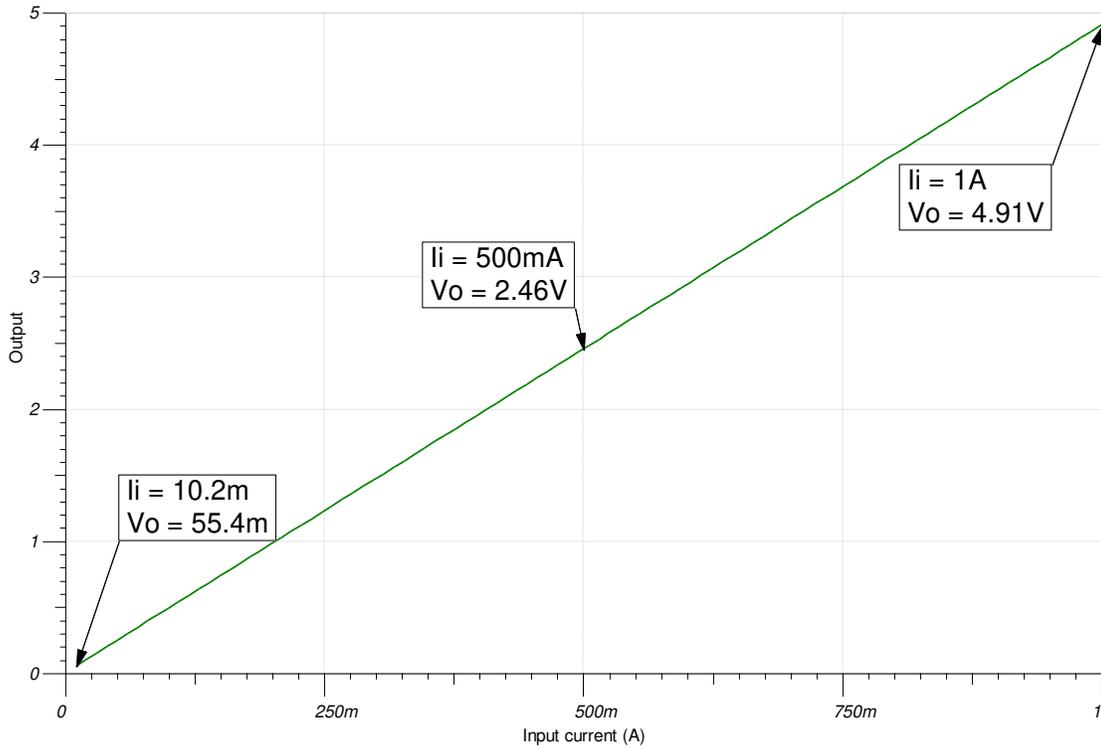
- 十分な位相マージンを維持するため、ゲイン設定抵抗とデバイスの入力容量によって発生するゼロが、回路の帯域幅より大きいことを確認します。

$$\frac{1}{2 \times \pi \times (C_{cm} + C_{diff}) \times (R_2 || R_3)} > \frac{\text{GBP}}{G}$$

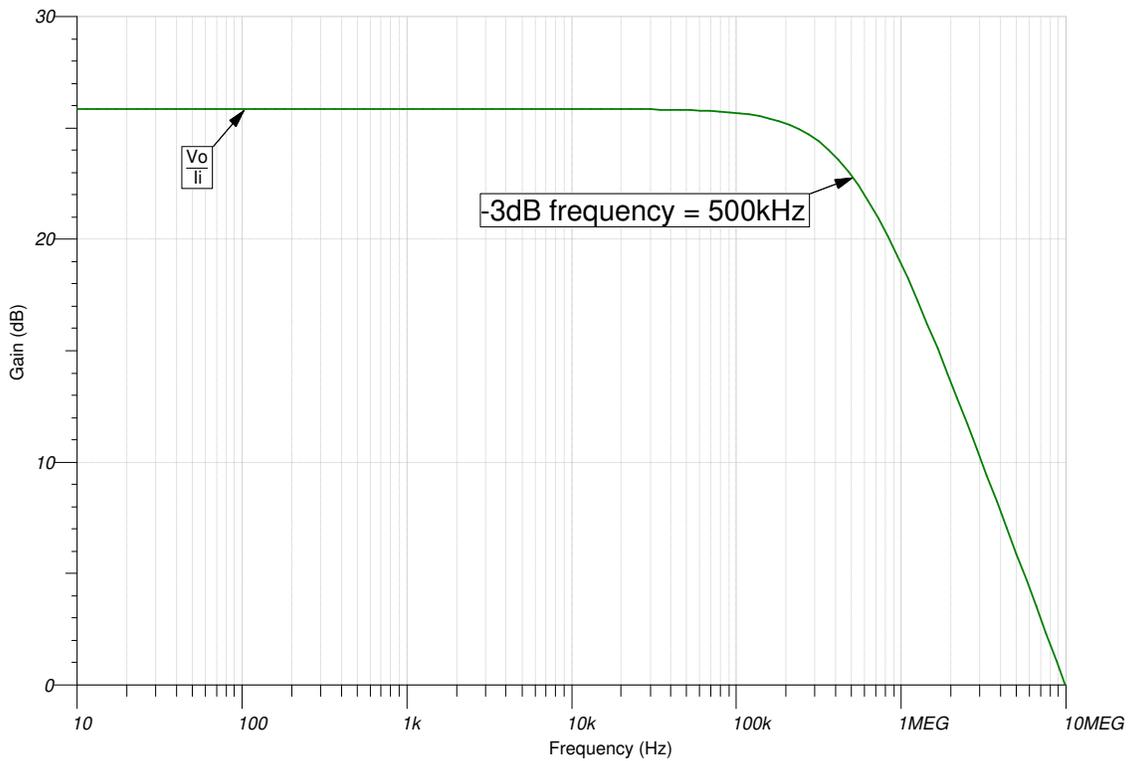
$$\frac{1}{2 \times \pi \times (3\text{pF} + 3\text{pF}) \times \left(\frac{715 \Omega \times 13.3 \text{ k}\Omega}{715 \Omega + 13.3 \text{ k}\Omega}\right)} > \frac{10 \text{ MHz}}{19.6 \frac{\text{V}}{\text{V}}} = 39.1 \text{ MHz} > 510 \text{ kHz}$$

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



参考資料

テキサス・インスツルメンツ、『[単一電源ローサイド単方向電流検出回路のシミュレーション](#)』、SBOC523 SPICE シミュレーション ファイル

テキサス・インスツルメンツ、『[0~1A、単一電源、ローサイドの電流センシング ソリューション](#)』TIPD129 リファレンス デザイン

テキサス・インスツルメンツ、『[10μA~10mA、ローサイド、単一電源の電流センシングのリファレンス デザイン](#)』TIPD104 リファレンス デザイン

テキサス・インスツルメンツ、『[GND までの出力スイング回路を搭載した、単一電源、ローサイド、単方向の電流センシング ソリューション](#)』アナログ エンジニア向け回路

設計に使用されているオペアンプ

TLV9061	
V_{SS}	1.8V~5.5V
V_{inCM}	レール ツー レール
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	0.3 mV
I_q	538μA
I_b	0.5pA
UGBW	10 MHz
SR	6.5V/μs
チャンネル数	1、2、4
TLV9061	

設計の代替オペアンプ

OPA375	
V_{CC}	2.25V~5.5V
V_{inCM}	(V-)~((V+)-1.2V)
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	0.15 mV
I_q	890μA
I_b	10pA
UGBW	10 MHz
SR	4.75V/μs
チャンネル数	1
OPA375	

バッテリー駆動または消費電力が厳しい設計において、既に述べた元の設計目標以外に、システムの合計消費電力の低減が望まれる場合、次の部品を使用できます。

LPV821	
V_{cc}	1.7V~3.6V
V_{inCM}	レール ツー レール
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	1.5 μ V
I_q	650nA/Ch
I_b	7pA
UGBW	8 kHz
SR	3.3V/ms
チャンネル数	1
LPV821	

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