

# Analog Engineer's Circuit

## 単一電源ひずみゲージ・ブリッジ・アンプ回路



### Amplifiers

#### 設計目標

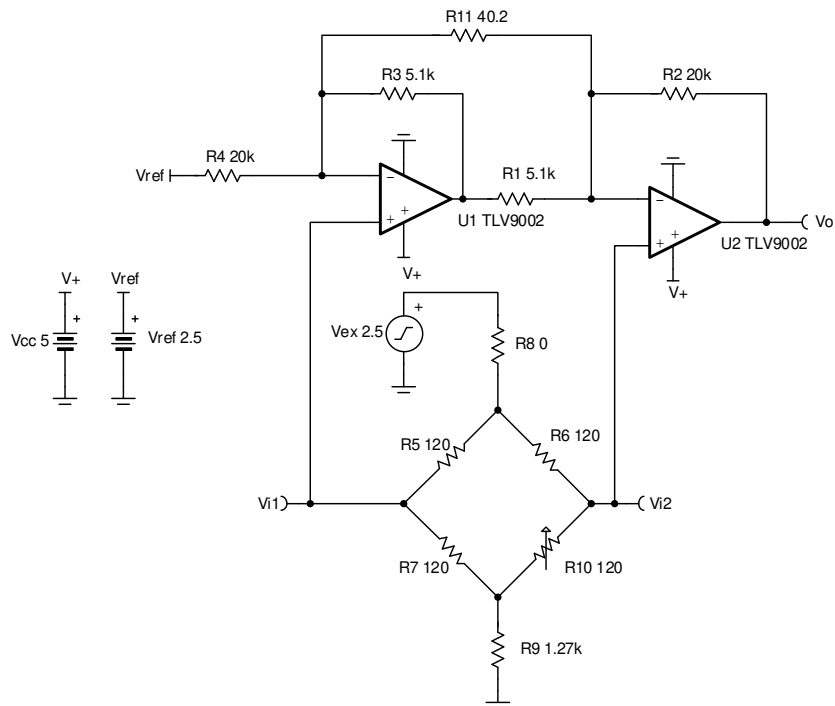
入力 $V_{IDiff}(V_{i2} - V_{i1})$		出力		電源		
$V_{IDiff\_Min}$	$V_{IDiff\_Max}$	$V_{oMin}$	$V_{oMax}$	$V_{cc}$	$V_{ee}$	$V_{ref}$
-2.22mV	2.27mV	225mV	4.72V	5V	0V	2.5V

ひずみゲージの抵抗値の変化 ( $R_{10}$ )	$V_{cm}$	ゲイン
115Ω~125Ω	2.39V	1001V/V

#### 設計の説明

ひずみゲージは、加えられた力に応じて抵抗値が変化するセンサです。抵抗値の変化は、加えられた力によってセンサに発生するひずみに正比例します。抵抗値の変化を測定するため、ひずみゲージはブリッジ構成で配置されます。この設計では、2 オペアンプ構成の計測回路を使用して、ひずみゲージの抵抗値の変化により発生する差動信号を増幅します。 $R_{10}$  の変化によりホイートストーン・ブリッジの出力に発生した小さな差動電圧が 2 オペアンプ構成の計測アンプに入力されます。計測アンプの線形動作は、基本的な構成要素であるオペアンプの線形動作によって決まります。入力信号がデバイスの入力同相範囲内であり、かつ出力信号が出力スイング範囲内であるとき、オペアンプは線形動作します。オペアンプへの電力供給に使用される電源電圧によって、これらの範囲が決まります。



## デザイン・ノート

- ブリッジのオフセット電圧の発生を避けるため、ホイートストーン・ブリッジの抵抗  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  は互いに等しく、ひずみゲージの公称抵抗値と一致している必要があります。
- ブリッジ抵抗によるオフセット・ゲイン誤差を最小化するため、公差の小さい抵抗を使用する必要があります。
- $V_{ex}$  は、ブリッジの励起電圧と同相電圧  $V_{cm}$  を設定します。
- $V_{ref}$  は計測アンプの出力電圧を電源電圧の  $1/2$  にバイアスし、正および負方向の差動測定を可能にします。
- $R_{11}$  は、計測アンプ回路のゲインを設定します。
- $R_8$  および  $R_9$  は、計測アンプの同相電圧を設定し、ブリッジを流れる電流を制限します。この電流は、ブリッジにより生成される差動信号を決定します。ただし、ブリッジ抵抗とひずみゲージの自己発熱効果に起因して、ブリッジに流せる電流には限界があります。
- $V_{ref}$  ゲインを  $1V/V$  に設定し、計測アンプの DC CMRR を高く維持するため、 $R_1 = R_3$  かつ  $R_2 = R_4$  とし、比  $R_2/R_1$  と比  $R_4/R_3$  が一致するようにします。
- 線形動作は、使用するオペアンプの入力同相および出力スイング範囲内であることが条件となります。線形出力スイング範囲は、オペアンプのデータシートの  $A_{ol}$  テスト条件に規定されています。
- 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、回路に追加のノイズが発生することがあります。

## 設計手順

- $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  を、ひずみゲージの公称抵抗値と一致するよう選択します。

$$R_{gauge} = R_5 = R_6 = R_7 = 120 \Omega$$

- 計測アンプの同相電圧が  $2.39V$  になるよう、 $R_9$  を選択します。

$$V_{cm} = \frac{\frac{R_{bridge}}{2} + R_9}{R_{bridge} + R_9} \times V_{ex}$$

$$V_{cm} = \frac{\frac{120 \Omega}{2} + R_9}{120 \Omega + R_9} \times 2.5 V = 2.39 V$$

$$\frac{\frac{120 \Omega}{2} + R_9}{120 \Omega + R_9} = \frac{2.39 V}{2.5 V} = 0.96$$

$$0.04 R_9 = 49.7 \rightarrow R_9 = \frac{49.7}{0.04} = 1.24 k\Omega = 1.27 k\Omega \text{ (Standard value)}$$

- 目標の出力電圧スイングを生成するために必要なゲインを計算します。

$$G = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{V_{iDiff\_Min} - V_{iDiff\_Max}} = \frac{4.72 V - 0.225 V}{0.00222 V - (-0.00227 V)} = 1001 \frac{V}{V}$$

- $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  を選択します。 $V_{ref}$  ゲインを  $1V/V$  に設定し、計測アンプの CMRR の劣化を回避するため、 $R_1$  は  $R_3$  と等しく、 $R_2$  は  $R_4$  と等しくする必要があります。

$$\text{Choose } R_1 = R_3 = 5.1 k\Omega \text{ and } R_2 = R_4 = 20 k\Omega \text{ (Standard value)}$$

- 必要なゲインを得るための  $R_{11}$  を計算します。

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V}$$

$$G = 1 + \frac{20 k\Omega}{5.1 k\Omega} + \frac{2 \times R_2}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V} \rightarrow 4.92 + \frac{40 k\Omega}{R_{11}} = 1001 \frac{V}{V} \rightarrow \frac{40 k\Omega}{R_{11}} = 996.1 \rightarrow R_{11} = \frac{40 k\Omega}{996.1} = 40.15 \Omega \rightarrow R_{11} = 40.2 \Omega \text{ (Standard value)}$$

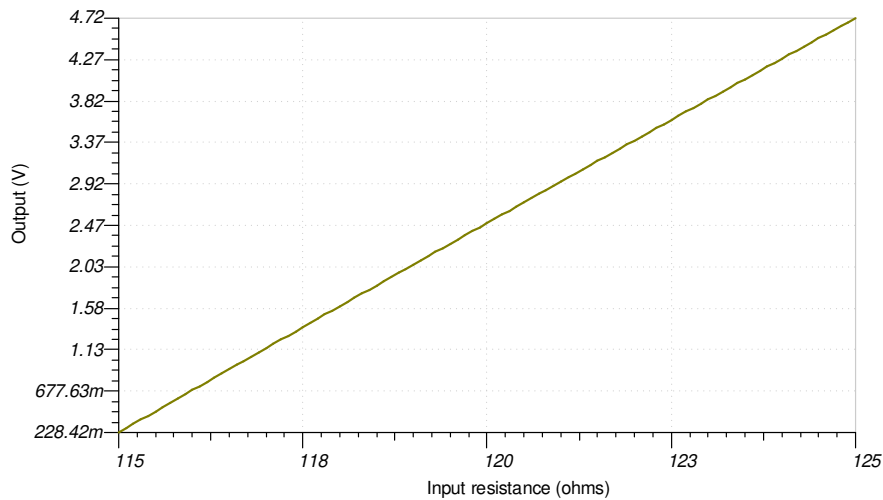
- ブリッジを流れる電流を計算します。

$$I_{bridge} = \frac{V_{ex}}{R_8 + R_9 + R_{bridge}} = \frac{2.5 V}{0 \Omega + 1.27 k\Omega + 120 \Omega}$$

$$I_{bridge} = \frac{2.5 V}{1.27 k\Omega + 120 \Omega} \rightarrow I_{bridge} = 1.80 mA$$

設計シミュレーション

DC シミュレーション結果



関連資料

- 『アナログ・エンジニア向け回路クックブック』
- SPICE シミュレーション・ファイル: [SBOMAU4](#)
- TI Precision Designs [TIPD170](#)
- [TI Precision Labs](#)
- [2 オペアンプ構成の計測アンプにおける  \$V\_{CM}\$  と  \$V\_{OUT}\$  の関係のプロット](#)

設計に使用されているオペアンプ

TLV9002	
$V_{SS}$	1.8V~5.5V
$V_{inCM}$	レール・ツー・レール
$V_{out}$	レール・ツー・レール
$V_{os}$	0.4mV
$I_q$	0.06mA
$I_b$	5pA
UGBW	1MHz
SR	2V/ $\mu$ s
チャンネル数	1、2、4
<a href="#">TLV9002</a>	

設計の代替オペアンプ

OPA376	
$V_{SS}$	2.2V~5.5V
$V_{inCM}$	$(V_{ee} - 0.1V) \sim (V_{cc} - 1.3V)$
$V_{out}$	レール・ツー・レール
$V_{os}$	0.005mV
$I_q$	0.76mA
$I_b$	0.2pA
UGBW	5.5MHz
SR	2V/ $\mu$ s
チャンネル数	1、2、4
<a href="#">OPA376</a>	

## 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](https://www.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 © 2023, Texas Instruments Incorporated