

## Analog Engineer's Circuit

## NTC サーミスタによる温度センシング回路



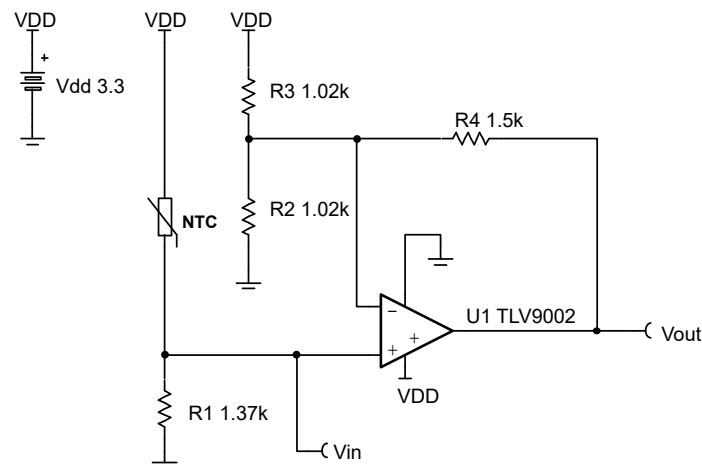
## Amplifiers

## 設計目標

温度		出力電圧		電源	
$T_{Min}$	$T_{Max}$	$V_{outMin}$	$V_{outMax}$	$V_{dd}$	$V_{ee}$
25°C	50°C	0.05V	3.25V	3.3V	0V

## 設計の説明

この温度センシング回路は NTC (Negative Temperature Coefficient: 負の温度係数) サーミスタに直列に接続した抵抗を使用して分圧器を形成します。これには、温度に比例した出力電圧が得られる効果があります。この回路では、非反転構成 (反転入力に基準電圧を接続) でオペアンプを使用し、信号のオフセットと増幅を行います。これにより、ADC の分解能を最大限に活用し、測定精度を高めることができます。



## デザイン・ノート

1. オペアンプは線形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。TLV9002 の線形出力スイング: 0.05V~3.25V
2. この  $V_{in}$  の接続では、出力電圧は正の温度係数を持ちます。出力電圧が負の温度係数 (NTC) を持つように修正するには、 $R_1$  と NTC サーミスタの位置を交換します。
3.  $R_1$  は、温度範囲と NTC サーミスタの値に基づいて選択します。
4. 値の大きい抵抗を使用すると、アンプ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。値が約 10k $\Omega$  以下の抵抗を使うことを推奨します。
5. 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、ノイズ低減に役立ちます。

## 設計手順

$$V_{out} = V_{dd} \times \frac{R_1}{R_{NTC} + R_1} \times \frac{(R_2 || R_3) + R_4}{(R_2 || R_3)} - \left( \frac{R_4}{R_3} \times V_{dd} \right)$$

1. 出力電圧が直線的になるように、 $R_1$  の値を計算します。NTC サーミスタの最小値と最大値を使用して、 $R_1$  の値の範囲を計算します。

$$R_{NTCMax} = R_{NTC} @ 25C = 2.252 \text{ k}\Omega, \quad R_{NTCMin} = R_{NTC} @ 50C = 819.7 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = \sqrt{R_{NTC} @ 25C \times R_{NTC} @ 50C} = \sqrt{2.252 \text{ k}\Omega \times 819.7 \text{ }\Omega} = 1.359 \text{ k}\Omega \approx 1.37 \text{ k}\Omega$$

2. 入力電圧範囲を計算します。

$$V_{inMin} = V_{dd} \times \frac{R_1}{R_{NTCMax} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{1.37 \text{ k}\Omega}{2.252 \text{ k}\Omega + 1.37 \text{ k}\Omega} = 1.248 \text{ V}$$

$$V_{inMax} = V_{dd} \times \frac{R_1}{R_{NTCMin} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{1.37 \text{ k}\Omega}{819.7 \text{ }\Omega + 1.37 \text{ k}\Omega} = 2.065 \text{ V}$$

3. 最大出力スイングを生成するのに必要なゲインを計算します。

$$G_{ideal} = \frac{V_{outMax} - V_{outMin}}{V_{inMax} - V_{inMin}} = \frac{3.25 \text{ V} - 0.05 \text{ V}}{2.065 \text{ V} - 1.248 \text{ V}} = 3.917 \frac{V}{V}$$

4. 理想的なゲインを使用して、 $R_2$  と  $R_3$  の並列組み合わせを求めます。 $R_4 = 1.5\text{k}\Omega$  (標準抵抗値)

$$(R_2 || R_3)_{ideal} = \frac{R_4}{G_{ideal} - 1} = \frac{1.5 \text{ k}\Omega}{3.917 \frac{V}{V} - 1} = 514.226 \text{ }\Omega$$

5. 伝達関数とゲインに基づいて、 $R_2$  と  $R_3$  を計算します。

$$R_3 = \frac{R_4 \times V_{dd}}{V_{inMax} \times G_{ideal} - V_{outMax}} = \frac{1.5 \text{ k}\Omega \times 3.3 \text{ V}}{2.065 \text{ V} \times 3.917 \frac{V}{V} - 3.25 \text{ V}} = 1023.02 \text{ }\Omega$$

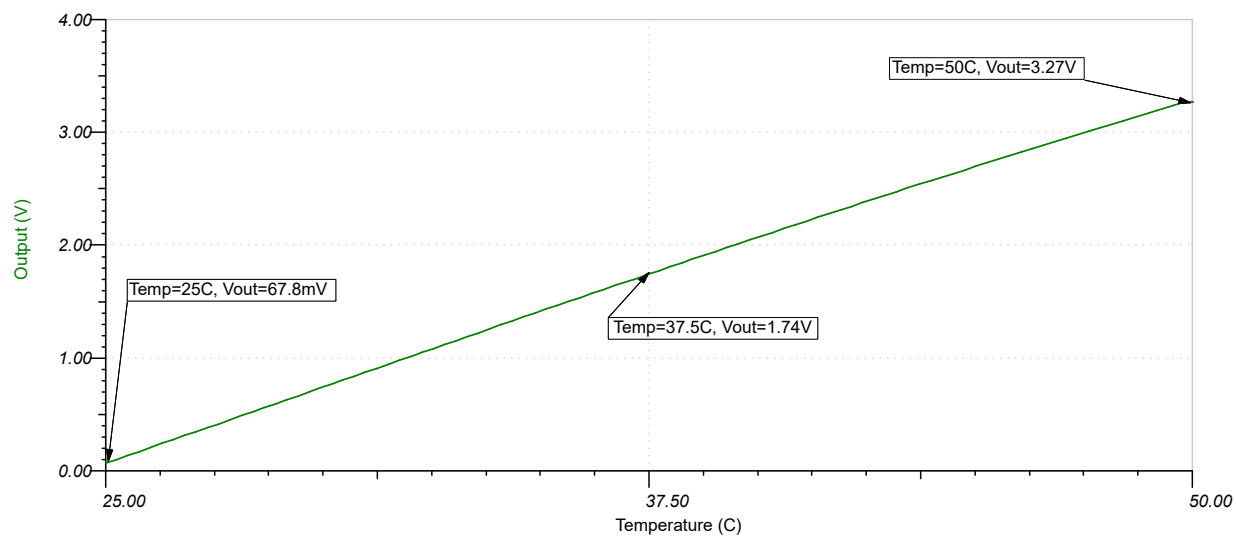
$$R_2 = \frac{(R_2 || R_3)_{ideal} \times R_3}{R_3 - (R_2 || R_3)_{ideal}} = \frac{514.226 \text{ }\Omega \times 1023.02 \text{ }\Omega}{1023.02 \text{ }\Omega - 514.226 \text{ }\Omega} = 1033.941 \text{ }\Omega$$

6.  $R_2$  (1.02k $\Omega$ ) と  $R_3$  (1.02k $\Omega$ ) の標準値を使用して、実際のゲインを計算します。

$$G_{actual} = \frac{(R_2 || R_3) + R_4}{(R_2 || R_3)} = \frac{510 \text{ }\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega}{510 \text{ }\Omega} = 3.941 \frac{V}{V}$$

## 設計シミュレーション

### DC 伝達結果



## 設計の参照資料

1. TI の総合的な回路ライブラリについては、「[アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)」を参照してください。
2. SPICE シミュレーション・ファイル: [SBOMAV6](#)
3. [TI Precision Labs](#)

## 設計に使用されているオペアンプ

TLV9002	
$V_{cc}$	1.8V~5.5V
$V_{inCM}$	レール・ツー・レール
$V_{out}$	レール・ツー・レール
$V_{os}$	1.5mV
$I_q$	0.06mA
$I_b$	5pA
UGBW	1MHz
SR	2V/ $\mu$ s
チャンネル数	1、2、4
<a href="http://www.ti.com/product/TLV9002">http://www.ti.com/product/TLV9002</a>	

## 設計の代替オペアンプ

OPA333	
$V_{cc}$	1.8V~5.5V
$V_{inCM}$	レール・ツー・レール
$V_{out}$	レール・ツー・レール
$V_{os}$	2 $\mu$ V
$I_q$	17 $\mu$ A
$I_b$	70pA
UGBW	350kHz
SR	0.16V/ $\mu$ s
チャンネル数	1、2、4
<a href="http://www.ti.com/product/OPA333">http://www.ti.com/product/OPA333</a>	

## 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 \* (December 2018) to Revision A (June 2021)

Page

- 
- 分圧回路付きの VREF を更新し、回路図と式を更新..... 1
-

## 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 © 2022, Texas Instruments Incorporated