

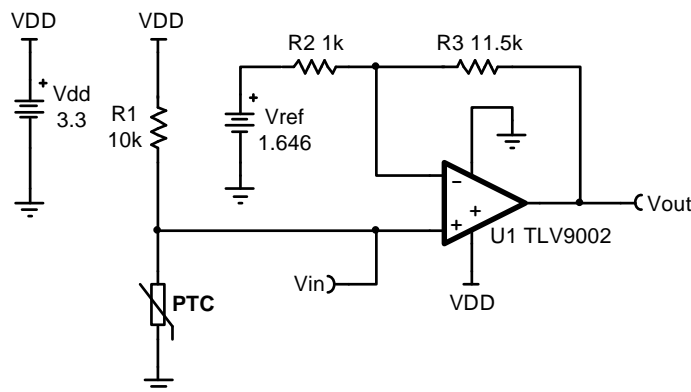
PTC サーミスタによる温度センシング回路

設計目標

温度		出力電圧		電源		
T_{Min}	T_{Max}	V_{outMin}	V_{outMax}	V_{dd}	V_{ee}	V_{ref}
0°C	50 C	0.05V	3.25V	3.3V	0V	1.646V

設計の説明

この温度センシング回路は PTC (Positive Temperature Coefficient: 正の温度係数) 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。
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 PTC サーミスタの位置を交換します。
3. R_1 は、温度範囲と PTC サーミスタの値に基づいて選択します。
4. V_{ref} は、DAC または分圧器を使用して生成できます。分圧器を使用する場合、分圧器の等価抵抗が回路のゲインに影響するため、考慮する必要があります。
5. 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 $10\text{k}\Omega$ 以下の抵抗を使うことを推奨します。
6. 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

$$V_{out} = V_{dd} \times \frac{R_{PTC}}{R_{PTC} + R_1} \times \frac{R_2 + R_3}{R_2} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref}$$

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。PTC 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。

$$R_{PTC_Max} = R_{PTC} @ 50^\circ C = 11.611 \text{ k}\Omega$$

$$R_{PTC_Min} = R_{PTC} @ 0^\circ C = 8.525 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \sqrt{R_{PTC} @ 0^\circ C \times R_{PTC} @ 50^\circ C} = \sqrt{8.525 \text{ k}\Omega \times 11.611 \text{ k}\Omega} = 9.95 \text{ k}\Omega \approx 10 \text{ k}\Omega$$

2. 入力電圧範囲を計算します。

$$V_{inMin} = V_{dd} \times \frac{R_{PTC_Min}}{R_{PTC_Min} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{8.525 \text{ k}\Omega}{8.525 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 1.519 \text{ V}$$

$$V_{inMax} = V_{dd} \times \frac{R_{PTC_Max}}{R_{PTC_Max} + R_1} = 3.3 \text{ V} \times \frac{11.611 \text{ k}\Omega}{11.611 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 1.773 \text{ V}$$

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。

$$G_{ideal} = \frac{V_{outMax} - V_{outMin}}{V_{inMax} - V_{inMin}} = \frac{3.25 \text{ V} - 0.05 \text{ V}}{1.773 \text{ V} - 1.519 \text{ V}} = 12.598 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

4. R_2 を選択して R_3 を計算し、手順 3 のゲインを設定します。

$$\text{Gain} = \frac{R_2 + R_3}{R_2}$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_2 \times (G_{ideal} - 1) = 1 \text{ k}\Omega \times (12.598 - 1) = 11.598 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Choose } R_3 = 11.5 \text{ k}\Omega \text{ (Standard value)}$$

5. R_2 および R_3 の標準抵抗値に基づいて実際のゲインを計算します。

$$G_{actual} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} = \frac{1 \text{ k}\Omega + 11.5 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 12.5 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

6. 実際のゲインに基づいて出力電圧スイングを計算します。

$$V_{out_swing} = (V_{inMax} - V_{inMin}) \times G_{actual} = (1.773 \text{ V} - 1.519 \text{ V}) \times 12.5 \frac{\text{V}}{\text{V}} = 3.175 \text{ V}$$

7. 出力電圧が電源電圧の 1/2 を中心として対称なときの最大出力電圧を計算します。

$$V_{outMax} = V_{mid-supply} + \frac{V_{out_swing}}{2} = \frac{V_{dd} - V_{ee}}{2} + \frac{V_{out_swing}}{2} = \frac{3.3 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2} + \frac{3.175 \text{ V}}{2} = 3.238 \text{ V}$$

8. 基準電圧を計算します。

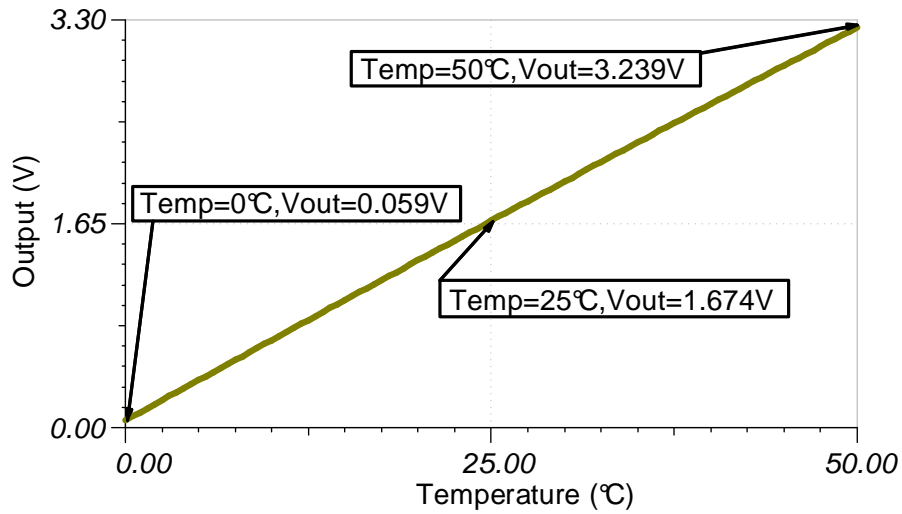
$$V_{outMax} = V_{inMax} \times G_{actual} - \frac{R_3}{R_2} \times V_{ref}$$

$$3.238 \text{ V} = 1.773 \text{ V} \times 12.5 \frac{\text{V}}{\text{V}} - \frac{11.5 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \times V_{ref}$$

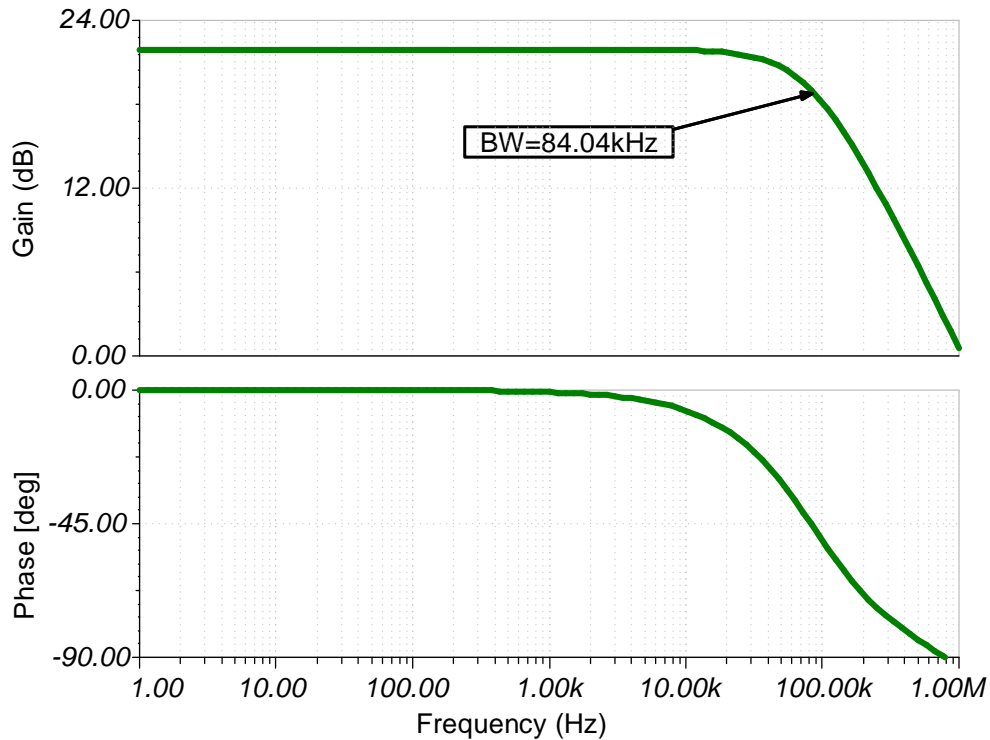
$$V_{ref} = \frac{1.773 \text{ V} \times 12.5 \frac{\text{V}}{\text{V}} - 3.238 \text{ V}}{\frac{11.5 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega}} = 1.646 \text{ V}$$

設計シミュレーション

DC伝達結果



ACシミュレーション結果



関連資料

1. [アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)
2. [SPICE シミュレーション・ファイル: SBOMAV5](#)
3. [TI プレジジョン・ラボ](#)

設計に使用されるオペアンプ

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/μs
チャンネル数	1、2、4
http://www.ti.com/product/TLV9002	

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}	2μV
I_q	17μA
I_b	70pA
UGBW	350kHz
SR	0.16V/μs
チャンネル数	1、2、4
http://www.ti.com/product/OPA333	

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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、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。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated