

DESIGN SHOWCASE

曲線近似(カーブフィッティング)で バンドギャップベース温度センサの誤差を減少

ダイレクトトゥデジタル温度センサICは、通常、妥当な価格で相対的に高精度の測定を行うためにバンドギャップ比例対絶対温度(PTAT)アーキテクチャを採用しています。マキシム/ダラスセミコンダクタ社では、独自の製造方法を使って温度精度が最高 ± 0.5 の工場較正済みバンドギャップ/PTATベース温度センサを提供しています。多くのアプリケーションに関してはこの精度レベルで十分と言えますが、ある種の科学的及び産業用アプリケーションでは更に高い精度が要求されます。

バンドギャップ電圧係数内の特有の曲率によって、バンドギャップベースの温度センサの狭い温度範囲を超えた部分の正確な較正が限定されます。幸いにして、電圧係数の非線形性は、二次的な形状を持っています。これにより、ユーザが誤差特性のオフセット及び曲率を補償することによって、数学的に精度を10倍以上改善することが容易になります。この改善は二次式をデバイス誤差曲線に「フィッティング(適合させる)」させ、ある特定温度において誤差を部分的に除去するためにカスタム化された等式を使うことによって達成できます。本文ではこの曲線近似手法の詳細を説明します。

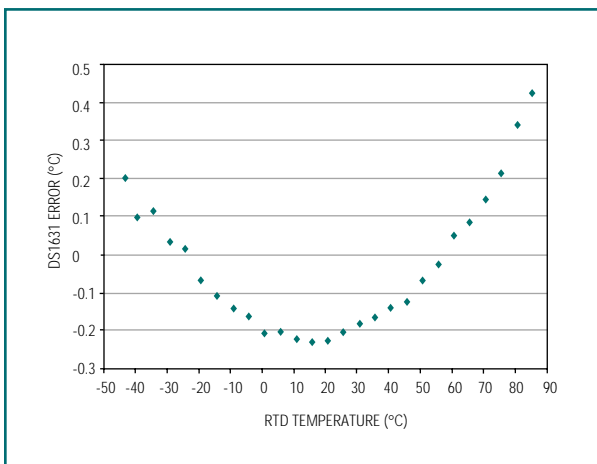


図1. DS1631の測定誤差対RTD測定温度の例で、明らかに二次的な曲率が見られます。

概念

バンドギャップ回路のPTATノードは上昇する温度と共に単調に増加する電圧係数を持ち、時間及び環境ストレスに対して非常に安定しています。これらの特性によって、バンドギャップPTATノードは、適切な較正条件下において高い精度を提供する優秀な温度測定デバイスとなります。

PTAT特性がおおよそ線形であるにもかかわらず、PTATは周辺温度に相対的な二次誤差と解釈される若干二次的な曲率を持っています。この点を例示してみます。熱伝導性の液体バスの温度を温度範囲-3 ~ +85 まで5 間隔で測定するためにDS1631 ICが使用されました。DS1631によるそれぞれの測定の間、液体の非常に正確な温度測定値を提供するために、NISTトレース可能プラチナRTDで液体の温度を同時に測定しました。図1には、RTD測定に対するDS1631測定誤差がプロットされています。この図で、二次的な曲率がはっきりと見られます。このプロットが曲線の中央でネガティブオフセットを示していることに留意して下さい。このオフセットは、中央温度で精度が下がっても、全体的な精度が広範囲において高まるように、較正中意図的に導入されました。

以下のセクションで示される誤差補正方法は、バンドギャップベース温度センサの出力特性の曲率及びオフセット両方を補償します。

実施

バンドギャップベースの温度センサ(図1に示されるような)の二次的な誤差特性は以下の等式で表現されます。

$$\text{Error} = \text{OFFSET} + \alpha(T_{\text{TS}} - T_{\text{ZERO_SLOPE}})^2 \quad (1)$$

この場合、 T_{TS} は温度センサが測定した温度で、 α は曲率補正係数です。 $T_{\text{ZERO_SLOPE}}$ は誤差曲線がzero slopeを持つ場合の温度です。OFFSETは $T_{\text{ZERO_SLOPE}}$ の時の誤差です。

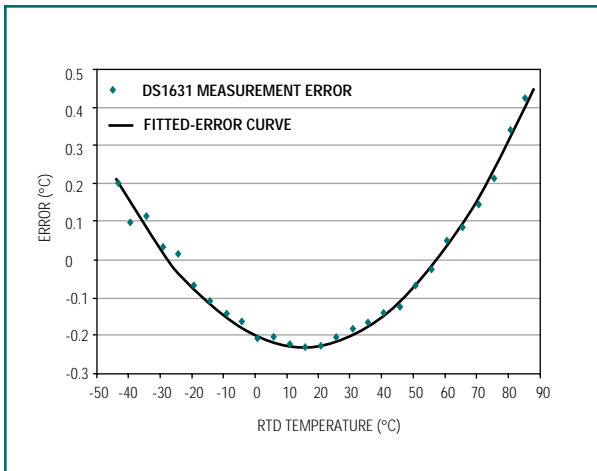


図2. DS1631測定誤差に対するフィット済み誤差曲率のこの例は、特種の科学用及び産業用アプリケーションに要求されるハイレベルの精度を表しています。

等式1が温度センサの出力誤差曲線に近似適合するように、 α 、OFFSET、及び T_{ZERO_SLOPE} の値を決定すると、ユーザはいかなる温度においても近似測定誤差を計算し、測定温度から計算値を引くことによって誤差の補償ができます。つまり補償された温度は次のように計算されます。

$$T_{COMP} = T_{TS} - \text{Error} = T_{TS} - [\text{OFFSET} + \alpha(T_{TS} - T_{ZERO_SLOPE})^2] \quad (2)$$

ベストフィット曲線を提供する T_{ZERO_SLOPE} 、OFFSET、及び α の値に達するには数度のイタレーションを必要とするかもしれないことを留意して下さい。最初の T_{ZERO_SLOPE} 及びOFFSETの概算がでたら、 α は簡単に入手できる数学またはスプレッドシートのソフトを使って計算することができます。

最高の結果を出すには、各温度センサが特定デバイスのベストフィット計算誤差曲線を決定するために必要とされる温度範囲にわたって特性化されるべきでしょう。

例

この例には、前述の補償手法を説明するために、図1からのDS1631データが使われています。図1を検討すると、このデバイスの T_{ZERO_SLOPE} は+15 で、OFFSETは-0.23 で見積られています。これらの値を等式1に代入しこれを α について解くと、 $\alpha = 1.28 \times 10^{-4}$ となり、図2の測定誤差曲線に非常に近似適合しています。RTD測定温度に対する(等式2を使って計算された)補償済み温度の誤差が図3に図示されています。補償済み誤差は、-35 から+85 までの温度範囲において ± 0.06 以下で、補正されない場合、誤差は全温度範囲で+0.5 /-0.3 でした。つまり、この補償手法によって、工場の標準較正によって得られるよりもかなり高い精度がデバイスの特性温度範囲にわたり提供されます。また、サーモスタット動作にDS1631のEEPROMレジスタが必要とされない場合、補償係数をその中に保存することによってこの補正手法を単純化することが可能です。

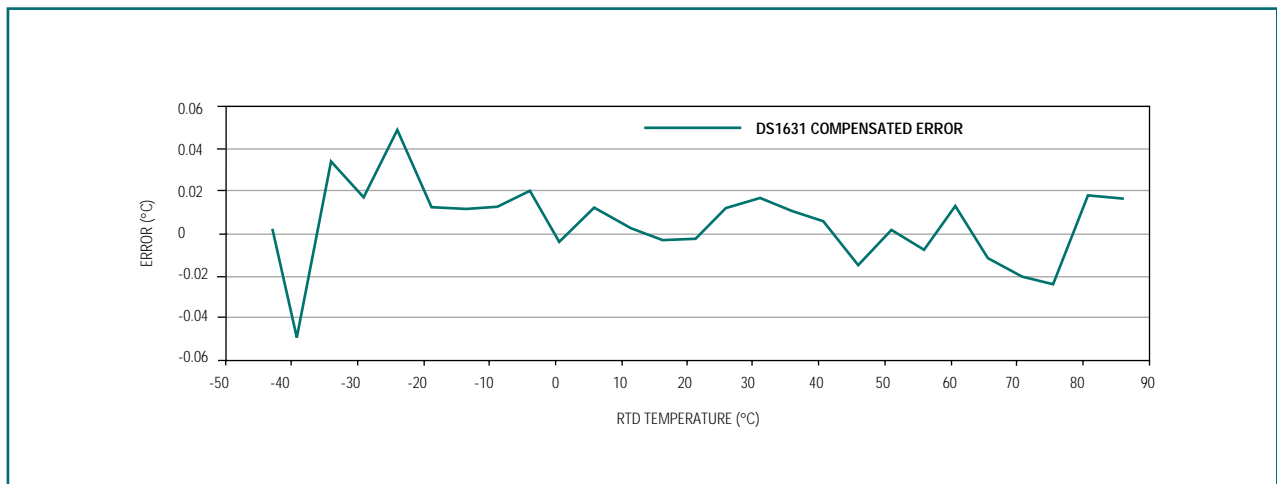


図3. 補償済み誤差は、デバイスの特性温度範囲にわたって、工場の標準較正よりもかなり高い精度を提供します。