

マイクロ コントローラと 温度センサ間の インタフェースを 簡略化する方法

温度はアナログ量ですが、デジタルシステムで測定、制御及び保護機能の実行に温度を使用する場合があります。正しい技術と部品を使用すれば、この場合に必要となるアナログ温度のデジタル情報への変換は困難なことではありません。

マイクロコントローラ(μC)を使用して温度を読取る動作のコンセプトは簡単なものです。サーミスタ抵抗分圧器、アナログ出力温度センサ又はその他のアナログ温度センサによって駆動されるアナログデジタルコンバータ(ADC)の出力コードをμCが読み取ります(図1)。一部のコントローラに組み込まれているADCがこの回路設計を簡略化することができます。ADCには、外部デバイスによって発生可能なリファレンス電圧が必要です。例えば、サーミスタセンサのリファレンス電圧は一般的に抵抗サーミスタ分圧器の最上段に印加されるリファレンス電圧と同じです。しかし、これらのシステムでは下記のような複雑で困難な状況が起こる場合があります。

- センサの出力電圧範囲がADCの入力電圧範囲よりも大幅に小さい。この目的に使用する標準的なADCは8ビットの分解能、そして通常は入力電圧範囲に等しい2.5Vのリファレンス電圧を持ちます。測定対象となる温度範囲に対応したセンサの最大出力が僅か1.25Vであれば、有効分解能は7ビットに低下します。8ビットの分解能を達成するためには、オペアンプを外付して利

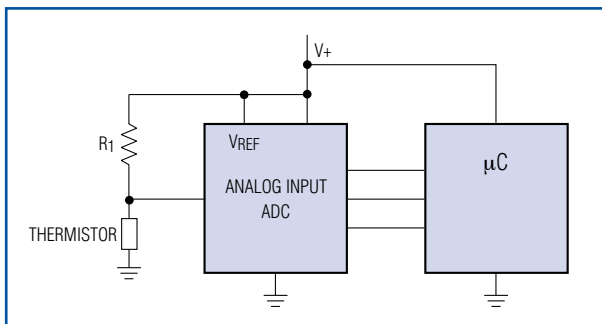


図1. この簡単なインタフェースでは、電源電圧からADCのリファレンス電圧が生成されます。サーミスタ抵抗分圧器の置換えとしてアナログ温度センサを使用することが可能です。その場合、ADC(μCに内蔵される場合もある)には十分に精度の高い電圧リファレンスが必要になります。

得を追加するか、又はADCのリファレンス電圧を小さくします(一部のADCでは、これによって精度が劣化する場合があります)。

- エラー見積りが厄介で難しい。サーミスタ抵抗分圧器又はアナログセンサデバイスからのエラーをADCが要因となって発生するエラーと組み合わせると、アンプのオフセット電圧、利得設定抵抗の許容誤差及びリファレンス電圧誤差がシステムの許容範囲を超える大きな誤差になる場合があります。
- 線形の温度対コード伝達関数が必要であるが、現在サーミスタを使用している。サーミスタの伝達関数は非常に非線形ですが、数多くのアプリケーションで要求される狭い温度範囲では十分な線形特性が維持されます。ルックアップテーブルを使用して非線形を補償できますが、この方式では現在入手できないリソースが必要になります。
- ADCの入力が制限されている。測定したい温度数が利用可能なADC入力数を超える場合には、マルチプレクサの追加が必要になるので、コストと開発時間が増加することになります。
- μCのI/Oピン数が制限されている。μCに内蔵されるADCの場合にこれは問題になりませんが、外部のシリアルADCの場合にはμCインタフェース用に2本から4本までのI/Oピンが必要になります。

デジタルインタフェース付きの温度センサを使用すれば、設計上の問題は簡略化されます。これと同様に、ADC入力及びμCのI/Oピン数が制限されている場合に時間又は周波数ベース出力を備えた温度センサを利用すれば、測定上の問題が解消されます(図2)。例えば、MAX6576温度センサはサイクル期間が絶対温度に比例した出力方形波信号を発生します。これは6ピンSOT23パッケージに収められているので、回路基板スペースが殆ど必要ありません。このデバイスは1本のI/OピンだけでμCとインタフェースし、その内部カウンタの後でサイクル期間が測定され、μCは温度の計算を実行します。2つのロジック

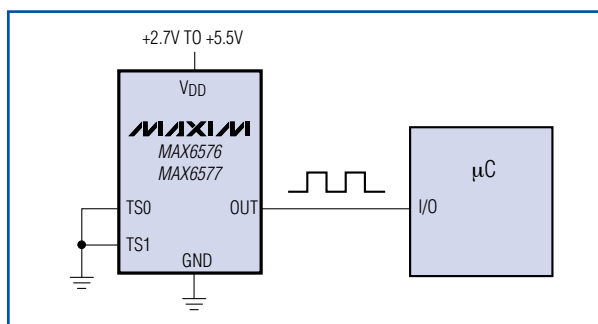


図2. MAX6576はサイクル期間が絶対温度に比例した方形波信号を発生します。MAX6577は温度に比例した出力周波数を発生します。適用される比例定数は、TS0とTS1の各ピンによって4つの値のうちどれか1つに設定します。外部部品は必要ありません。

入力それぞれにグラウンド又は正の電源電圧を加えることで、 $10\mu\text{s}/\text{K}$ から $640\mu\text{s}/\text{K}$ までの範囲内となる4つの期間/温度比例定数からどれか1つを選択します。

関連する温度センサ(MAX6577)は、周波数/温度係数を $0.0675\text{Hz}/\text{K}$ から $4\text{Hz}/\text{K}$ までの範囲内でプログラム設定可能な出力方形波信号を発生します。この両方のデバイスを利用すれば、必要なPC回路基板面積、部品数及びアナログ/デジタルI/Oリソースが節減されるので、温度のアクイジション負担が軽減されます。これらのデバイスは1本のデジタルI/Oピンを通して温度データを μC に送信し、更に1個の光アイソレータを追加すると、センサとCPU間に電氣的絶縁が必要なアプリケーションに最適となります。

各種の場所で複数の温度を測定する場合には、選択がもっと複雑になります。ADCに十分な入力が用意できれば、サーミスタ又は従来型のアナログ温度センサを適切な場所に配置して、ADC入力に接続できます。これとは別の方法として、MAX6575は温度データを μC に直接送信します。8個までのMAX6575を1つの μC I/O入力に接続できます。これらの8個のMAX6575と μC 間の接続には、1本だけのI/Oパターン配線を使用します(図3)。温度の測定時に μC は短期間のうちにI/Oラインをローに引込み、僅かな遅延の後で最初のMAX6575もI/Oラインをローに引込みます。この時間遅延は、MAX6575の2本のピンを使用してプログラム設定した比例定数で絶対温度に比例します。

最初のセンサは温度に比例した期間($5\mu\text{s}/\text{K}$)にラインをローに保持し、その後でラインを解放します。2回目の時

間遅延が経過した後で、プログラム設定ピンをより大きな比例定数に設定して選択された2番目のMAX6575がI/Oをローに引込み、 $5\mu\text{s}/\text{K}$ によって定義された期間中この状態を保持します。この方法で4個のMAX6575をI/Oラインに接続できます。遅延時間の長い他のバージョンのMAX6575を4個更に同じI/Oライン上に追加することが可能です。MAX6575Lは $5\mu\text{s}/\text{K}$ から $80\mu\text{s}/\text{K}$ までの範囲内の遅延乗算器を備え、MAX6575Hは $160\mu\text{s}/\text{K}$ から $640\mu\text{s}/\text{K}$ までの範囲内の遅延乗算器を備えています。したがって、システム周囲の異なる場所に8個までのMAX6575を配置して、1本のI/Oラインで μC と接続することが可能です。

一部のシステムでは、必要な情報が正確な温度ではなく、温度が特定値よりも高いか低いかだけの情報で十分な場合があります。この情報は冷却ファン、エアコンディショナ、ヒータ又はその他の環境制御要素をトリガできます。システム保護アプリケーションでは、システム電源が切断されたときにデータの損失を回避するために、「過大温度ビット」によって規則正しいシステムシャットダウンをトリガすることが可能です。このシングルビット情報は、上記の例のように温度を測定することで得られますが、この方式では要求される機能よりも多くのソフトウェア及びハードウェア負担が必要になります。

図1に示すADCの代わりに電圧コンパレータを使用すると、 μC 上のシングルI/Oピンを駆動可能なシンプルな1ビット出力が生成されます(図4)。再び説明しますが、図に示すサーミスタの置換えとしてアナログ電圧出力温度センサを使用することが可能です。このような殆どのデバイス

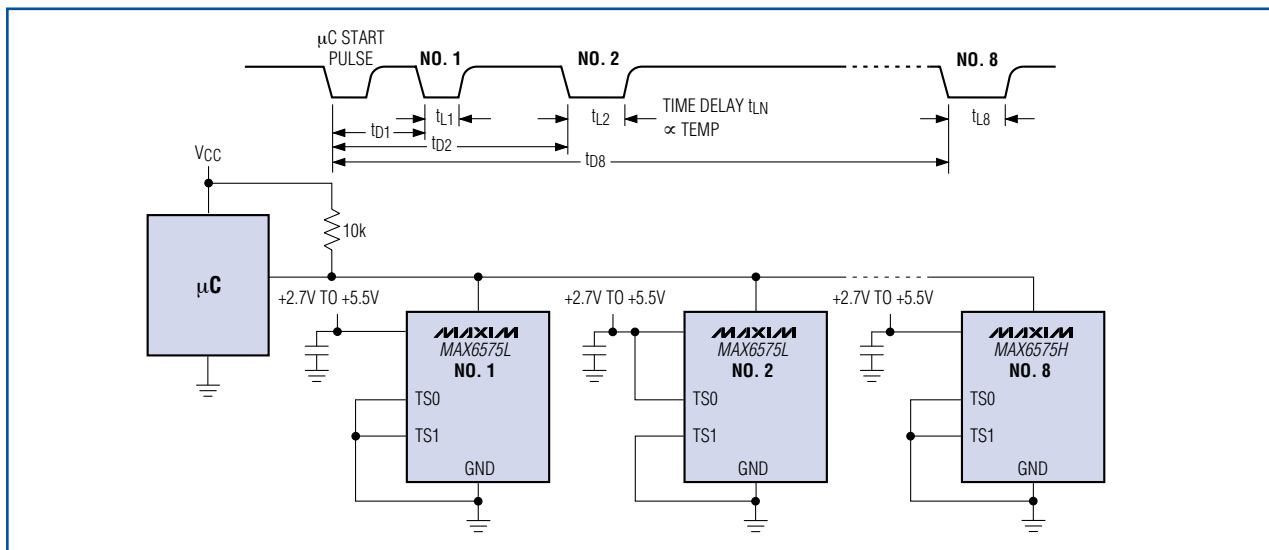


図3. 温度情報を符号化する遅延方式を利用することで、複数個のMAX6575は1本のデジタルI/Oピンを通して8つまでの温度情報を μC に送信します。

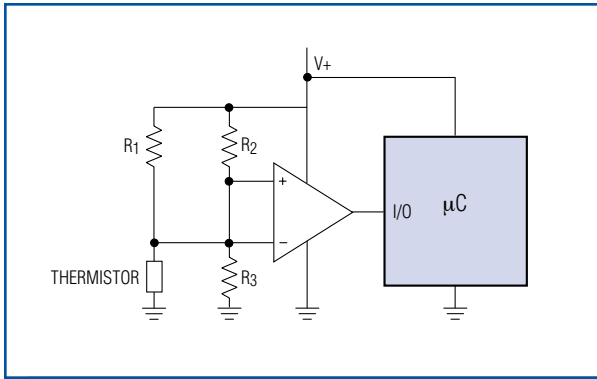


図4. センサをコンパレータと組み合わせることで、事前に設定済みのスレッシュولد又はトリップポイントを温度が超えたことを示す警告をμCに出すことが可能な1ビットのデジタル出力が生成されます。

は、電源電圧と全く無関係の温度および出力電圧間の関係を持ちます。電源電圧変動に対する耐性を保持するために、コンパレータの抵抗分圧器の上段を電源電圧ではなく電圧リファレンスに接続します。

センサとコンパレータの組み合わせ回路の置換えとしてMAX6501などのサーマルスイッチを使用すると、システムを簡略化することが可能です。このモノリシックデバイスはセンサ、コンパレータ、電圧リファレンス及び外部抵抗の機能を集積化しています。事前に設定済みのトリップレベルを温度が超えると、オープンドレイン出力がローになります。このファミリの一部のデバイスは温度がトリップポイントよりも低下するとローになるオープンドレイン出力を備え(MAX6503)、温度がトリップポイントよりも高くなるか、又は低くなるとハイになるプッシュ/プル出力を備えたデバイスも用意されています(図5に示すMAX6502又はMAX6504)。更に、パッケージピンをV+又はグラウンドに接続することにより、ヒステリシスを2あるいは10に設定することも可能です。設定可能なトリップ温度範囲は、10ステップで-45から+115までです。

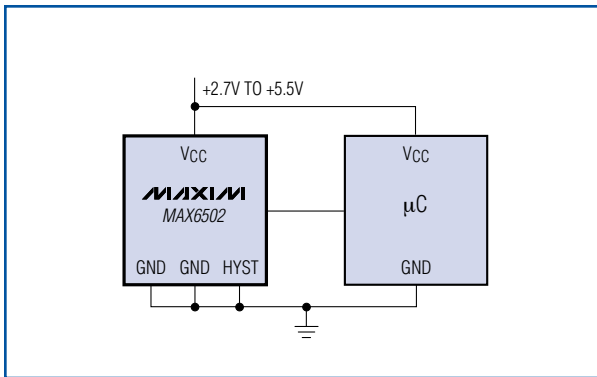


図5. 事前に設定済みのスレッシュولد値を温度が超えると、MAX6502はロジックハイ出力を発生します。

MAX6575の場合と同様に、複数個のMAX6501又はMAX6503をシングルI/Oトレースに接続すると、1つ又はそれ以上の場所で温度がスレッシュولدに達したときに、これをμCに通知することが可能です。どの場所で温度がスレッシュولدに達したかをシステムが知っておく必要がある場合には、各出力をそれぞれ個別のI/Oピンに接続しなければなりません。

これらのセンサは各自のダイ温度を測定し、ダイ温度はリード温度を高精度にトラッキングするので、各センサはそのリードがモニタ対象部品の温度を受け入れるように配置実装することが必要です。しかし一部のケースでは、ダイ温度が周囲回路基板温度よりも大幅に高くなる電源ASICのように、センサに対して厳密に結合されない温度を測定しなければならない場合があります。内部温度センサであれば、温度障害にตอบสนองしてASICは自動シャットダウン動作が可能になりますが、その機能だけによって精度が劣化し、サーマル過負荷が差し迫っていることをシステムに警告することも殆どありません。

外部からアクセス可能なP-N接合部をASICダイに追加すると、2つ又はそれ以上の異なる順方向電流がセンシング接合部を通過するように強制設定し、生成された電圧を測定することでダイ温度を直接的に測定できます。2つの電圧間の差は、ダイの絶対温度に比例します。

$$V_2 - V_1 = \frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_2}{I_1} \right)$$

ここで、 I_1 と I_2 はP-N接合部を通過するように強制設定する2つの電流レベル、 V_1 と V_2 は接合部を通して生成された順方向電圧、 k はボルツマン定数、 T はKを単位とする接合部の絶対温度、そして q は電子の電荷です。

この測定には当然ながら、高精度な電流比を生成して非常に微小な電圧差を測定し、更に電源ASICダイ上に集積化された大規模なトランジスタによって発生するノイズを除去する精度の高い回路が必要です。幸いなことに、マキシム社のリモートジャンクション温度センサはこのような高精度アナログ機能とシンプルで柔軟性のあるデジタルインタフェースを集積化しています。

例えば、MAX1618は8ビット(1)分解能でリモートジャンクション温度を測定し、SMBusを通してその結果をμCに転送します(図6)。PCのCPU温度モニタ用に本来設計されたこのデバイスは、コントローラのオーバヘッドをいくつか排除するその他の機能も備えています。例えば、MAX1618はウィンドウコンパレータでリモートジャンクション温度をモニタし、μCによってそのレジスタにダウンロード済みのリミットスレッシュولدよりも温度が高くなるか、又は低くなるとμCに割込みをかけます。

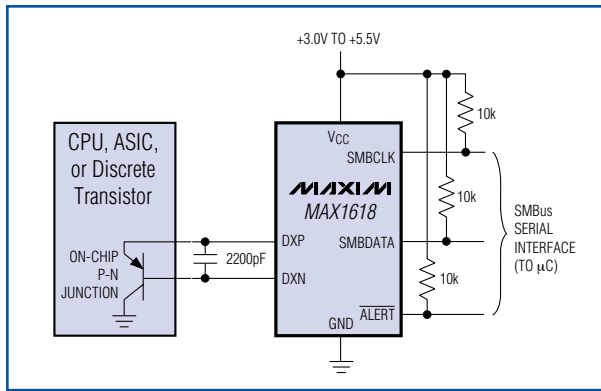


図6. MAX1618は接合部を通過するように電流をフォースし、生成された順方向電圧を測定することで、外部P-N接合部(ディスクリートトランジスタ、ASIC又はCPUの一部)の温度を測定します。

μCはMAX1618を連続的にポーリングするのではなく、スタートアップ時に温度スレッシュホールドを設定し、熱に関する問題に注意が必要になるまでMAX1618を無視することが可能です。

10ピンμMAXパッケージで提供されるMAX1618は、測定対象の接合部に近接させて配置することができます。その際に、センス接合部とMAX1618間のパターン配線長を短くすれば、ノイズのピックアップが回避されます。