

広範囲温度検出IC

シリコンの限界まで計測

高性能なマイクロプロセッサやグラフィックスプロセッサでは、リモート温度センサでダイ温度を監視し、動作時の消費電力や発熱量を管理するという手法が一般的になっています。近年クロック速度や回路密度が上がり発熱量が増加した結果、通常の温度センサでは測定することができないほどの温度までダイの動作温度が上がるようになりました。そして、このように従来のデバイスでは測定できない範囲の温度を測定することができる温度センサが新しく登場しました。本稿では、広レンジの温度センサについて、その理論とアプリケーションを紹介します。

マイクロプロセッサやグラフィックスプロセッサ、FPGAなど、高速・高性能なICに対しては、一般に、検出素子として外付けバイポーラトランジスタを使うデジタルのリモート温度センサが使われます。この温度測定が正確でなければ、性能を極限まで発揮させると同時に致命的な障害を防止することはできません。温度モニタによって、冷却ファン制御やクロックスロットリング機能を実現し、高性能ICが適切な温度範囲で動作できるようになります。高温になりすぎれば、システムをシャットダウンして障害を防止します。性能や電力消費が増大するにつれ、リモート温度監視機能の重要性がますます高まっていますが、同時に、実現が困難にもなっています。

従来のデジタル温度センサICは、最高128°C、多くの場合は100°C以下の温度範囲しか計測することができません。ほとんどの場合、この温度レンジで十分ですが、150°Cもの高温を測定することができなければ困る場合も出てきました。そのようなケースでは、広レンジ温度センサが必要となります。

温度検出範囲の拡張

典型的なデジタル温度センサICでは、1ビットで符号を、7ビットで計測値(LSBが1°C、MSBが64°C)を示すことで温度データを表現します。もう何ビットかを用い、より高い分解能で温度を表現するデジタルセンサもありますが、MSBが64°Cである限り、測定可能な最高温度は128°C以下に制限されます。

広レンジ温度センサであれば、128°Cという制限をはるかに超え、多くの場合150°Cもの高温まで測定が可能です。一番簡単な方法は、MSBを128°Cとすることです。この場合、温度データのレンジは255°Cまで拡張されますが、現実には127°Cを超える温度を計測する可能性は低く、これは有効なレンジを超えています。また、温度測定に用いる半導体ジャンクションの特性から、約150°Cを超えると温度の測定精度が急速に低下します。

消費電力の大きいICの最大動作温度は、クロック速度やプロセス、デバイスパッケージなど、さまざまな設計要因によって変化します。通常、温度が上昇するほど信号の完全性が低下し、ついには仕様を満足する性能を回路が発揮できなくなります。CPUやグラフィックスプロセッサの多くは、この温度が100°C程度ですが、高性能回路の中には通常動作温度が145°Cを超えるものもあります。このように広い温度範囲でデバイスが正常動作可能な場合、動作温度範囲内にデバイスを保つためには、その温度範囲を正確に計測することができる必要があります。動作温度範囲の上限付近にダイの絶対最大温度があることを考えると、障害発生と障害によるシャットダウンを防止するため、温度を正確に監視可能なことが非常に重要であることが理解できるはずです(図1)。

高性能プロセッサの中には、サーマルダイオードの特性から測定温度が「オフセット」増加するものもあります。つまり、実際の温度よりもはるかに高い温度が測定されるということです。この場合、温度センサは、実際の動作温度範囲よりも高い見かけの温度を計測できなければなりません。温度測定値が150°C以上に達しても、実際のダイオードの温度はプロセッサの通常動作温度の範囲内ということがあります。

リモート温度検出の基本

リモートダイオード温度センサによって温度を測定するとき、最もよく用いられるのは、ダイオードに2種類の電流(一般的には電流比が10:1など)を流す方法です。(ここでいうダイオードは、1N4001などの2リードのデバイスではありません。ダイオード接続のバイポーラトランジスタで、2リードのダイオードとリモートダイオード温度センサとは、異なる理想係数を持ちます。)それぞれの電流レベルにおけるダイオード電圧を測定し、次式によって温度を算出します。

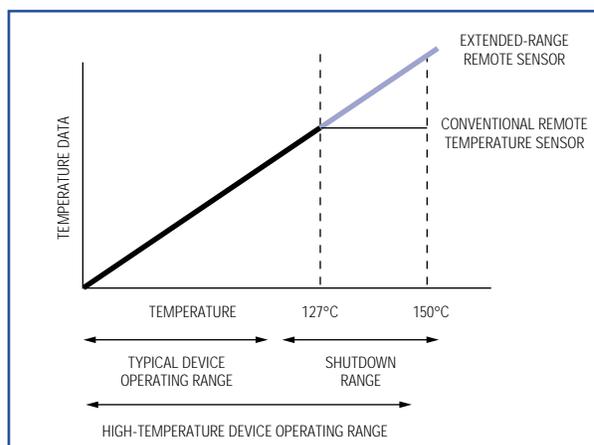


図1. 広レンジのリモート温度センサを使えば、高性能デバイスの動作温度全範囲にわたって温度を監視することができます。

$$V_H - V_L = n \frac{kT}{q} \left[\ln \frac{I_H}{I_L} \right]$$

ただし、

I_H はダイオードバイアス電流の大きい方

I_L はダイオードバイアス電流の小さい方

V_H は I_H により発生するダイオード電圧

V_L は I_L により発生するダイオード電圧

n はダイオードの理想係数

k はボルツマン定数(1.38×10^{-23} ジュール/°K)

T は温度(°K)

q は電子の電荷(1.60×10^{-19} °C)

$$\frac{I_H}{I_L} = 10 \text{ のとき、上式は次のよう簡素化されます。}$$

$$V_H - V_L = 1.986 \times 10^{-4} \times nT$$

「 n 」は理想係数と呼ばれるもので、プロセスによって異なります。その値は、ほとんどのトランジスタではほぼ1.0です。たとえば、Pentium® IIIマイクロプロセッサの理想係数は約1.008、Pentium IVマイクロプロセッサは1.002です。リモートダイオード温度センサでは、正確な比率で電流を流し、その結果発生する電圧を測定して、その電圧に対しスケールリングとレベルシフトを行うことによって温度データを得ます。1°Cの温度変化によって発生する電圧が200µVであるため、内蔵アナログデジタルコンバータ(ADC)は、コモンモードがかなり大きい状態で低電圧を正確に測定可能なものでなければなりません。

従来のセンサに対して広レンジ温度センサが異なっている点は、ADC入力電圧範囲が若干広く、より大きな高低電流レベル間電圧を入力することができるという点です。温度データの表現も異なっています。マキシムの広レンジ温度センサでは、重みをつけたMSBを加えることによって、128°C以上の温度に対応しています。これは、符号ビットをなくし、それをより大きな値のMSBに置き換えることで実現しています。

信頼性が高く正確な広レンジのリモートダイオード温度センサを作るためには、高度な製造試験技術によってセンサの調整とその精度の検証を行う必要があります。マキシムでは、独自の熱管理試験システムでセンサとサーマルダイオードの温度を測定し、センサ内部回路の調整を行うことで、業界で比類ない高精度を実現しています。

150°Cまで計測可能なリモート温度センサ

マキシムの最初の広レンジリモート温度センサは、2001年に発売したMAX6627でした。MAX6627は、3線式(クロック、シリアルデータ出力、チップ選択)のデジタルインタフェースを持つユニークなものでした。パッケージは小型の8ピンSOT23とし、計測コンポーネントのすぐ近くに設置することができるようにしました。

その後、2003年には、MAX6646/MAX6647/MAX6649という3種類の広レンジリモート温度センサを発売しました。これらは2線式のI²C™/SMBus™互換インタフェースを持ち、デスクトップやノートブック、サーバの各アプリケーションに最適です。センサ精度は145°Cまでの範囲で1°Cであり(図2)、広レンジ温度センサとして世界最高の精度を誇ります。また、業界標準となっているMAX6692とピンコンパチブルだけでなく、レジスタコンパチブルでもあります。ただし、128°Cを超える温度範囲では、高い測定温度に対応して温度データレジスタが1ビット多くなります。いずれのセンサも、温度過昇や過冷を示す温度コンパレータ出力を持ち、高性能ICのモニタリングや保護を有効に行うことができます。

2003年には、もう一つ、MAX6642という広レンジセンサも発売されました(図3)。これは、世界最小の広レンジ温度センサで、SMBusインタフェースを持ちます。パッケージは、サイズが3mm x 3mmで厚さわずか0.8mmの6ピンTDFNです。保証精度は60°C~100°Cが±1°C以内、100°C~150°Cが±3.5°Cです。

Pentiumは、Intel Corporationの登録商標です。

Philips社とのI²C特許権契約により、システムがPhilips社のI²C標準規格に合致していることを条件に、Maxim Integrated Products, Inc.または二次ライセンスを受けた関連会社が製造したI²C製品を購入することにより、システムでこれらの製品を使用するライセンスが譲渡されたこととなります。

SMBusは、Intel Corporationの商標です。

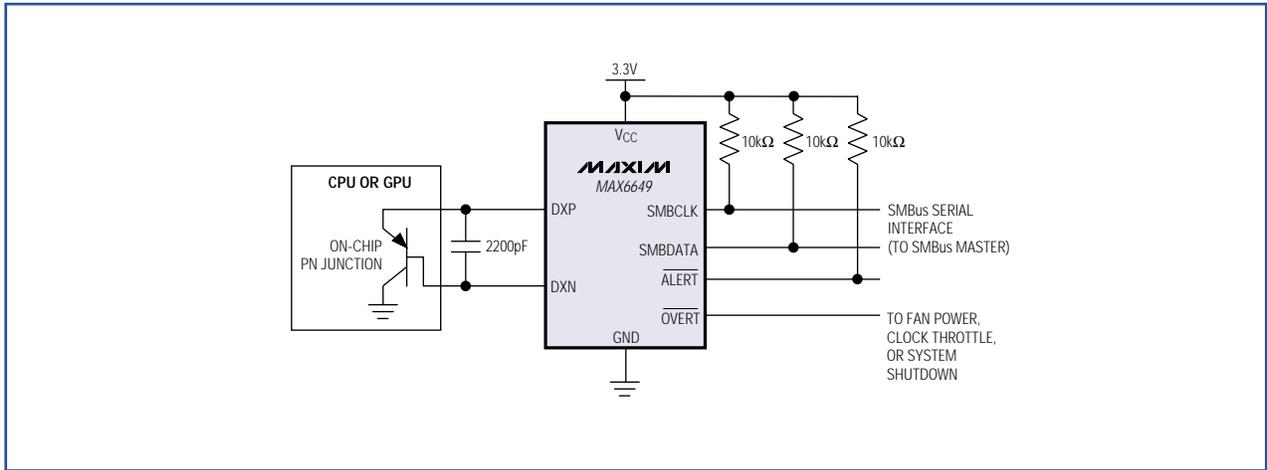


図2. MAX6649で、CPUやグラフィックスプロセッサのサーマルダイオード温度(60°C~145°C)を測定することができます。精度を下げて、150°Cまでの温度を計測することも可能です。

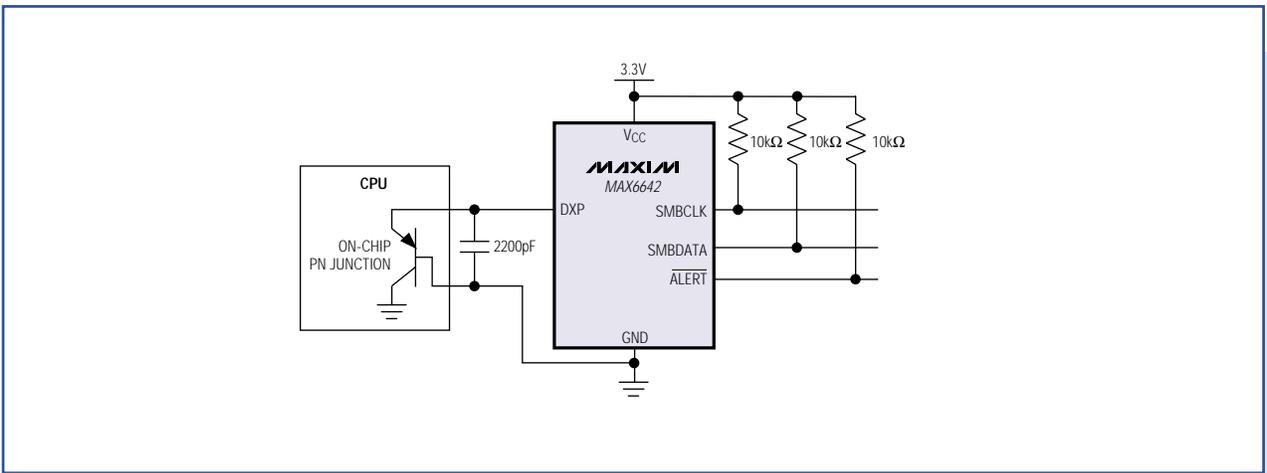


図3. MAX6642は世界最小のリモート温度センサで、150°Cまでの計測が可能です。

まとめ

広レンジリモート温度センサが市場に登場したのは最近ですが、そのようなセンサが現在及び将来のシステムで必要とされていることは明らかです。マキシムは、高精度の広レンジセンサを提供したいと考えており、今後も、画期的な広レンジ製品を開発し、次々と登場するシステムに対応していきます。

ECNの2004年1月号にも同様の記事が掲載されています。