

この号の内容

コールド・クランクやロード・ダンブにシームレスに対応する入力電圧範囲 2.7V ~ 40V のモノリシック昇降圧 DC/DC コンバータ **9**

±4.75V ~ ±70V で動作する高精度モノリシック・オペアンプ **14**

ノイズの多い大規模な 1°C システム設計をバス・バッファで簡略化 **17**

## 高精度(±1°C)の温度センサによるシステム性能と信頼性の向上

Christoph Schwoerer, Gerd Trampitsch

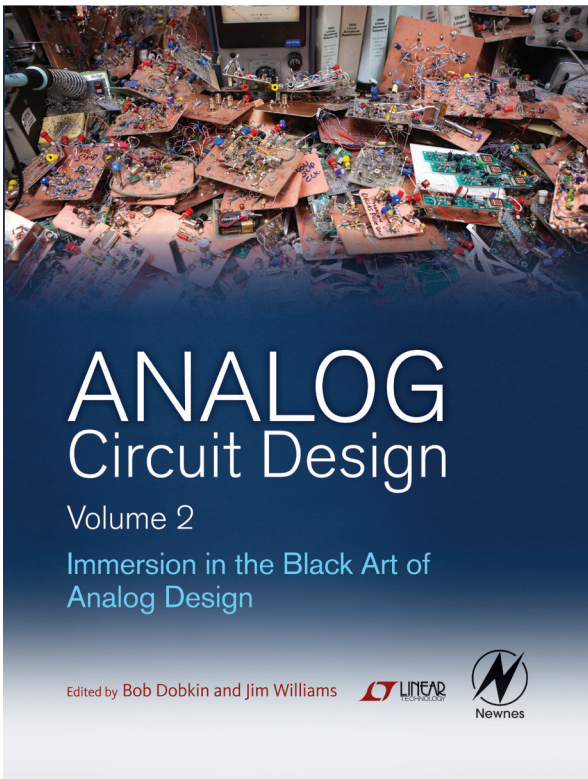
高性能、高密度実装のシステムが増えてくるにつれて、熱の問題をどのように処理するかがこれまでになく重要になってきました。多くのシステムでは、冷却システムの能力が全体の性能の向上を大きく制約するようになってきています。通常の冷却用部品、たとえば場所を取るヒートシンク、電力を消費し、騒音を発生する(あるいは静かだが高価な)ファンによって、高密度実装システムのサイズ削減が思うように進められないことが多くなっています。システムの性能を最大限に上げ、必要以上の冷却を避けつつも電子機器の安全性を確保するための最善の方法は、システム全体を通じた正確な温度監視を行うことです。

このことを念頭に置いて、リニアテクノロジーは、システム全体に容易に展開できる高精度温度モニタ・ファミリを開発しました。このファミリのラインナップは以下のとおりです。

このことを念頭に置いて、リニアテクノロジーは、システム全体に容易に展開できる高精度温度モニタ・ファミリを開発しました。このファミリのラインナップは以下のとおりです。

- LTC<sup>®</sup>2997 は、デバイス自体の温度または外付けダイオードの温度を正確に測定します。
- LTC2996 は、測定した温度を上限、下限のしきい値と比べ、オープンドレインのアラート出力を介して異常の発生を伝える機能を追加しています。
- LTC2995 は、LTC2996 と 2 つの電源電圧モニタを組み合わせることにより、温度の測定、しきい値と温度の比較、さらに 2 つの電源電圧の監視が可能です。

(2 ページへ続く)



『Analog Circuit Design, Volume 2』、現在販売中。3 ページ参照。

# この号の内容

## COVER STORY

高精度(±1°C)の温度センサによる  
システム性能と信頼性の向上

Christoph Schwoerer, Gerd Trampitsch

1

## DESIGN FEATURES

コールド・クランクやロード・ダンブにシーム  
レスに対応する入力電圧範囲2.7V~40Vの  
モノリシック昇降圧DC/DCコンバータ

John Canfield

9

±4.75V~±70Vの範囲で動作し、レール・トゥ・  
レールの出力振幅と低入力バイアス電流を特長と  
するモノリシック・オペアンプ

Michael B. Anderson

14

ノイズの多い大規模なI<sup>2</sup>Cシステムの設計を  
バス・バッファで簡略化

Rajesh Venugopal

17

理想ダイオードおよびホットスワップ・コントロー  
ラによる電源の二重化と障害状態の切り分け

Chew Lye Huat

24

## DESIGN IDEAS

LTspice IVの最新情報

Gabino Alonso

30

電流および温度モニタ機能を備えた20V、  
2.5A同期整流式モノリシック降圧レギュレータ

K. Bassett

32

大電流電源における正確なマルチフェーズ  
電流分担を実現するサブ・ミリオームDCR  
電流センス

Muthu Subramanian Tuan Nguyen Theo Phillips

34

パワーシステムマネージメント機能を備えた  
高性能、単相DC/DCコントローラ

Yi Sun

37

back page circuits

40

(LTC299x、1ページからの続き)

## LTC2997: 小型の高精度温度センサ

2mm×3mmの6ピンDFNパッケージに収められたLTC2997は、図1に示すようにFPGA  
またはマイクロプロセッサの温度測定に最適です。

温度測定のために、LTC2997はFPGAまたはマイクロプロセッサの温度監視用ダイオード  
に測定用の電流を流し、ダイオードの温度に応じた電圧をV<sub>PTAT</sub>端子に出力します。  
LTC2997はV<sub>REF</sub>端子から1.8Vの基準電圧も出力します。これは、FPGAまたはマイクロ  
プロセッサに内蔵されたA/Dコンバータの基準電圧として使用できます。外部の温度監視用  
ダイオードを用いた場合の測定誤差は、0°C~100°Cおよび40°C~125°Cという広い温度範  
囲で、それぞれ±1°Cおよび±1.5°C以下であることが保証されています。標準的な温度測  
定誤差は、図2に示すように良好です。

また、D<sup>+</sup>ピンをV<sub>CC</sub>ピンに接続すれば、LTC2997に内蔵したダイオードを温度センサとし  
て使用することができます。V<sub>PTAT</sub>の電圧には4mV/Kの勾配があり、3.5msごとに更新さ  
れます。

## 動作原理

LTC2997は、複数のテスト用電流を流してダイオードの電圧を測定し、それらの結果からプ  
ロセス依存の誤差や直列抵抗による誤差を取り除くことにより、見事な高精度を実現します。

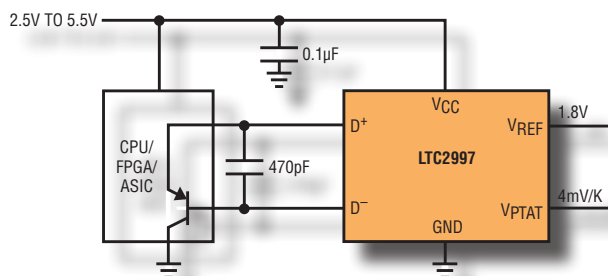
ダイオードに関する等式は、Tについて次のように解けます。ここで、Tはケルビン温度、I<sub>S</sub>は  
10<sup>-13</sup>A程度のプロセス依存係数、ηはダイオードの理想係数、kはボルツマン定数、qは電  
子の電荷です。

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_D}{\ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right)}$$

この等式では、温度と電圧の間に相関があり、プロセス依存変数I<sub>S</sub>に依存します。I<sub>S</sub>の値が同  
じダイオードを2つの異なる電流で測定して解くことにより、I<sub>S</sub>に依存しない式が得られます。

(4ページへ続く)

図1. リモートCPU温度センサ



2mm×3mmの6ピンDFNパッケージに収められたLTC2997は、マイクロプロセッサの温度監視用ダイオードを用いてFPGAまたはマイクロプロセッサの温度を測定するのに最適です。この構成での測定誤差は、0°C～100°Cおよび40°C～125°Cという広い温度範囲で、それぞれ±1°Cおよび±1.5°C以下であることが**保証**されています。

(LTC299x、2ページからの続き)

自然対数の項の値は2つの電流の比率となり、プロセスには依存しません。

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_{D2} - V_{D1}}{\ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}}\right)}$$

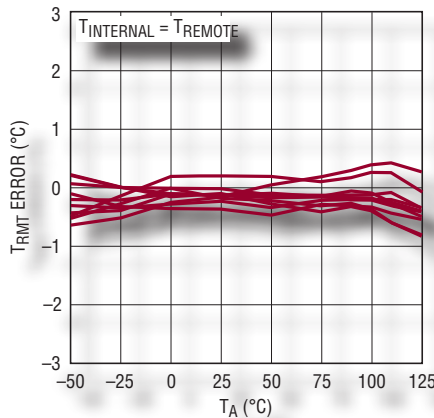
外部のダイオードと直列に入る抵抗成分は、各テスト電流での測定電圧を増やす方向に働くので測定誤差の要因になります。合成された電圧は次のとおりです。

$$V_D + V_{\text{ERROR}} = \eta \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right) + R_S \cdot I_D$$

ここで、 $R_S$ は直列抵抗成分です。

LTC2997は、キャンセル電圧を差し引くことにより、センサ信号からこの誤差項を除去します(図3aを参照)。抵抗抽出回路は、1つの追加測定電流( $I_3$ )を使用して測定経路の直列抵抗を求めます。抵抗値が正しく決まると、 $V_{\text{CANCEL}}$ は $V_{\text{ERROR}}$ に等しくなります。これで、温度/電圧コンバータの入力信号には抵抗成分

図2. 温度誤差と温度 (リモート・ダイオードと同じ温度のLTC2997)



による誤差がなくなりますので、電流 $I_1$ および $I_2$ を用いてセンサ温度を求めることができます。

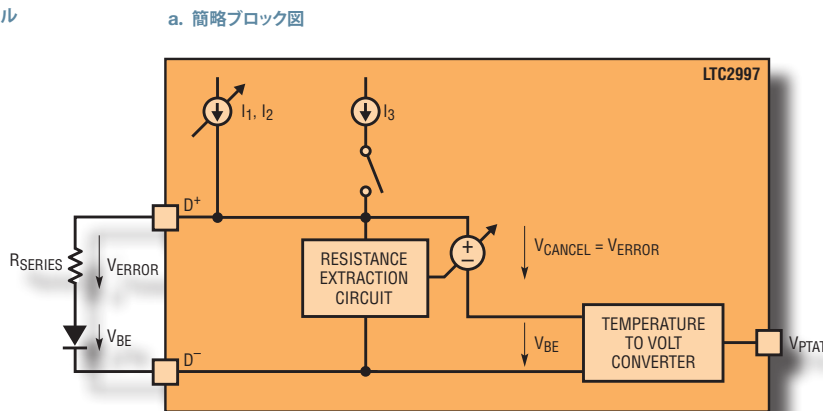
図3bに示すように、最大1kΩの直列抵抗によって通常発生する温度誤差は1°C未満です。このためLTC2997は、温度管理システムから数m

離れたダイオード・センサの値を読み取るデバイスとして最適です。実際には、最大距離は配線抵抗よりも配線容量によって制限されます。容量が1nFより大きくなると、検出電流を変えた際のセンサ電圧のセリングに時間がかかり、温度測定誤差が生じます。たとえば、長さ10mのCAT 6ケーブルの容量は約500pFです。

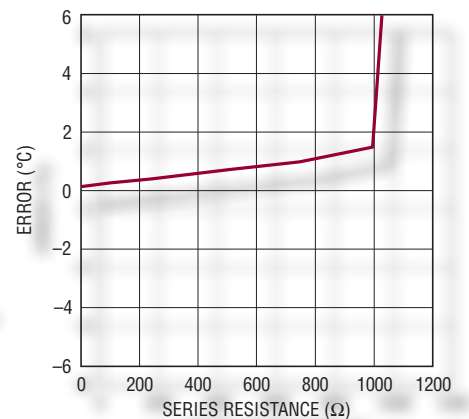
多くのリモート・ダイオード・センサとは異なり、LTC2997は更新時間が3.5msと短く、測定間隔の間の温度変動にも対応できる堅牢な温度測定アルゴリズムを備えているので、急速に変化する温度にも正確に追従します。LTC2997デバイス全体を氷水につけた直後に沸騰水につけた際のLTC2997の内部センサのステップ応答を図4に示します。

温度制御ループに応用した場合、LTC2997にはデジタルの相当品より多くの利点があります。応答速度が速いアナログ出力により、デジタル・システムで要求される複雑さの多くを取り除くことができます。たとえば、75°Cに安定化するヒ-

図3. 直列抵抗のキャンセル

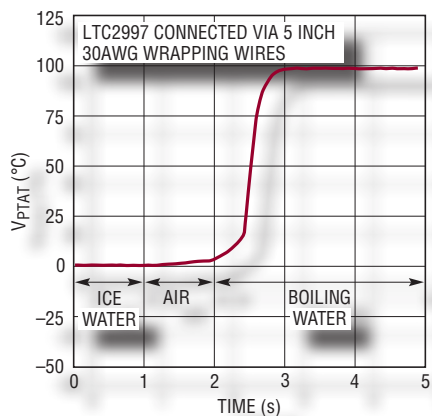


b. 温度誤差と直列抵抗



温度制御ループに応用した場合、LTC2997にはデジタルの相当品より多くの利点があります。応答速度が速いアナログ出力により、デジタル・システムで要求される複雑さの多くを取り除くことができます。

図4. LTC2997の内部センサの熱ステップ応答



ターに組み込まれたLTC2997を図5に示します。この用途では、基準電圧出力と分圧抵抗を用いて $1.392V (= [75 + 273.15]K \cdot 4mV/K)$ の目標電圧を生成しています。

初段のマイクロパワー・レール・トゥ・レール・アンプ (LTC6079) は、LTC2997の $V_{PTAT}$ 出力と目標電圧の差を積分します。積分誤差信号はPWM発振器によってパルス幅変調信号に変換され、この信号がPMOSのスイッチを駆動して、加熱用抵抗に流れる電流を制御します。

LTC2997は、摂氏温度計 (図6)、華氏温度計 (図7) 冷接点補償付きの熱電対温度計 (図8) を始め、正確で高速な温度測定が要求される、あらゆるアプリケーションで使用することができます。

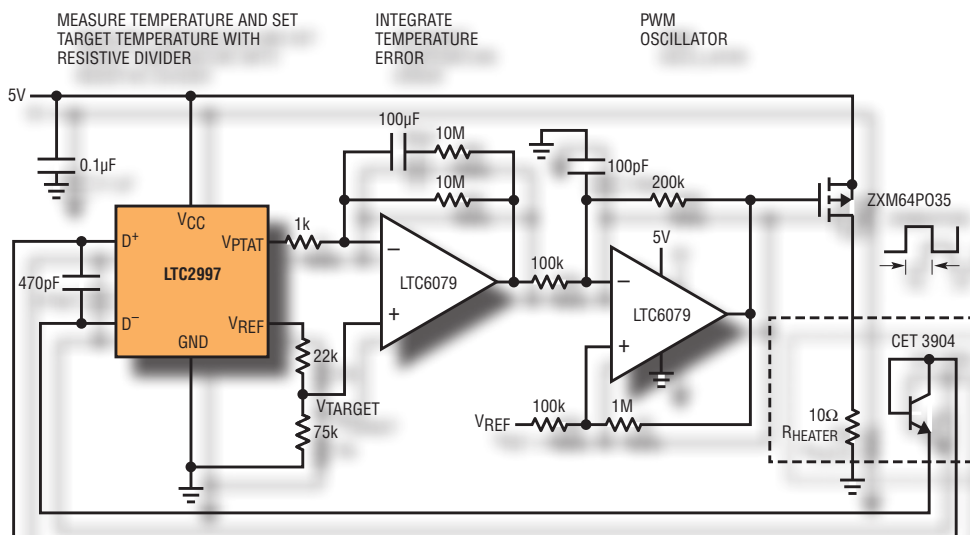


図5. 75°CのアナログPWMヒーター・コントローラ

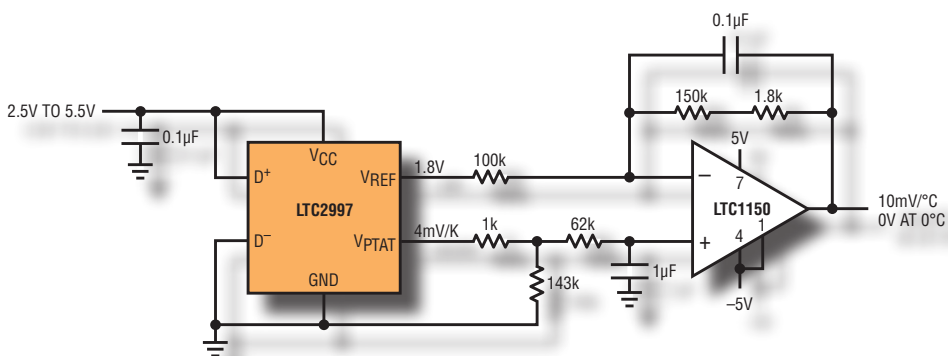


図6. 摂氏温度計

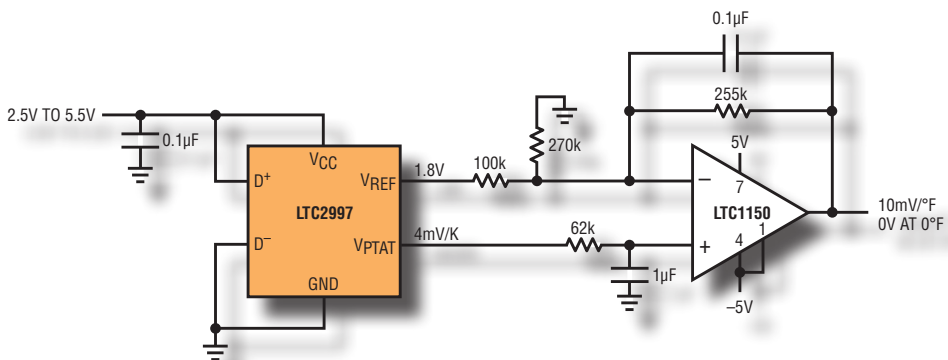


図7. 華氏温度計



多くのリモート・ダイオード・センサとは異なり、LTC2997は更新時間が3.5msと短く、測定間隔の間の温度変動にも対応できる堅牢な温度測定アルゴリズムを備えているので、急速に変化する温度にも正確に追従します。

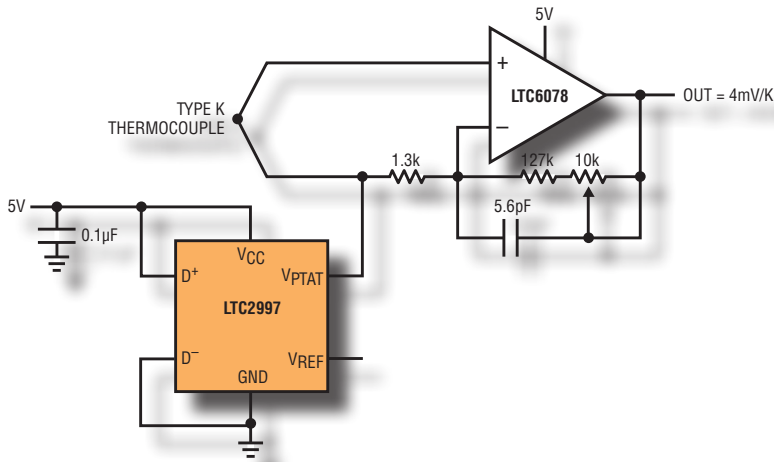


図8. 冷接点補償付きの熱電対温度計

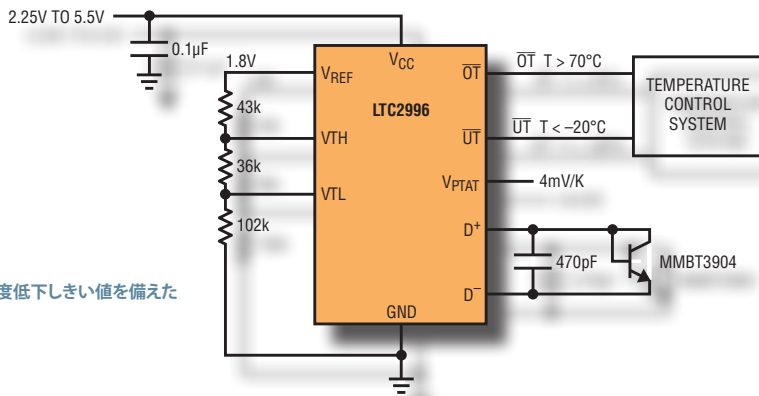


図9. 温度超過しきい値と温度低下しきい値を備えたリモート温度モニタ

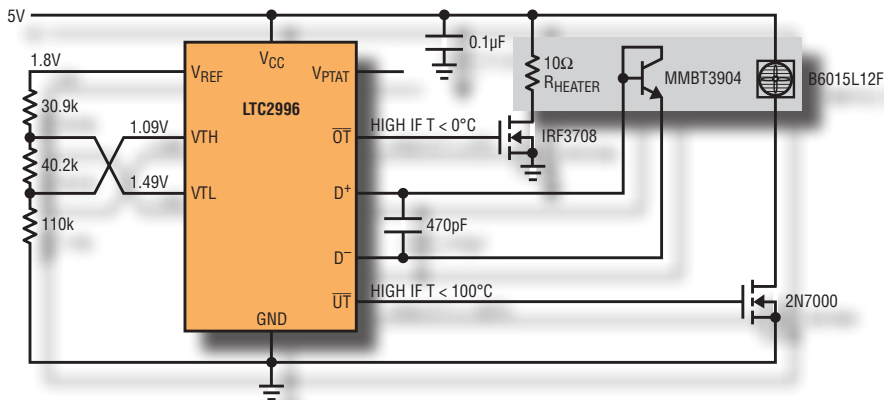


図10. バンバン・コントローラによる0°C~100°Cの温度の維持

### LTC2996 温度モニタ

LTC2996ではLTC2997にしきい値入力VTHおよびVTLが追加されており、高温異常(OT)または低温異常(UT)を検出するために、しきい値とVPTATとを常に比較します。図9に示すように、しきい値の電圧は内蔵の基準電圧に分圧抵抗を接続することにより簡単に設定できます。

図9のリモート・ダイオードの温度が70°Cより高くなると、VPTATピンの電圧はVTHピンの高温しきい値を超えます。LTC2996はこの温度超過状態を検出し、OTピンを“L”にすることにより、温度制御システムにアラートを通知します。同様に、温度が-20°Cより低くなると、UTピンを介して通知します。LTC2996は、温度が対応するしきい値を超える状況が、3.5msごとの更新間隔換算で連続5回に達すると、オープンレインのアラート出力をプルダウンします。OTピンおよびUTピンには、VCCピンとの間に弱い400kの内部プルアップ抵抗が内蔵されているので、多くのアプリケーションでは外付け抵抗は不要です。

図10に示すように、LTC2996を使用して、電池など異常な温度に弱いデバイスを、決められた範囲内の温度に維持するヒステリシス制御を実現できます。

このアプリケーションでは、低温側しきい値が100°Cに設定されているのに対して、高温側しきい値は0°Cに設定されています。この設定は一見すると上下逆のようですが、しきい値を超えるとOTおよびUTがプルダウンされることを積極的に利用したものです。この設定では、温度が決められた範囲内に収まっている間は、UTとOTの両方がNMOSのゲートをプルダウンすることにより、加熱用抵抗および冷却ファンはオフになります。温度が100°Cを超えると、低温側の

LTC2996ではLTC2997にしきい値入力VTHおよびVTLが追加されており、高温異常(OT)または低温異常(UT)を検出するために、しきい値と $V_{PTAT}$ とを常に比較します。

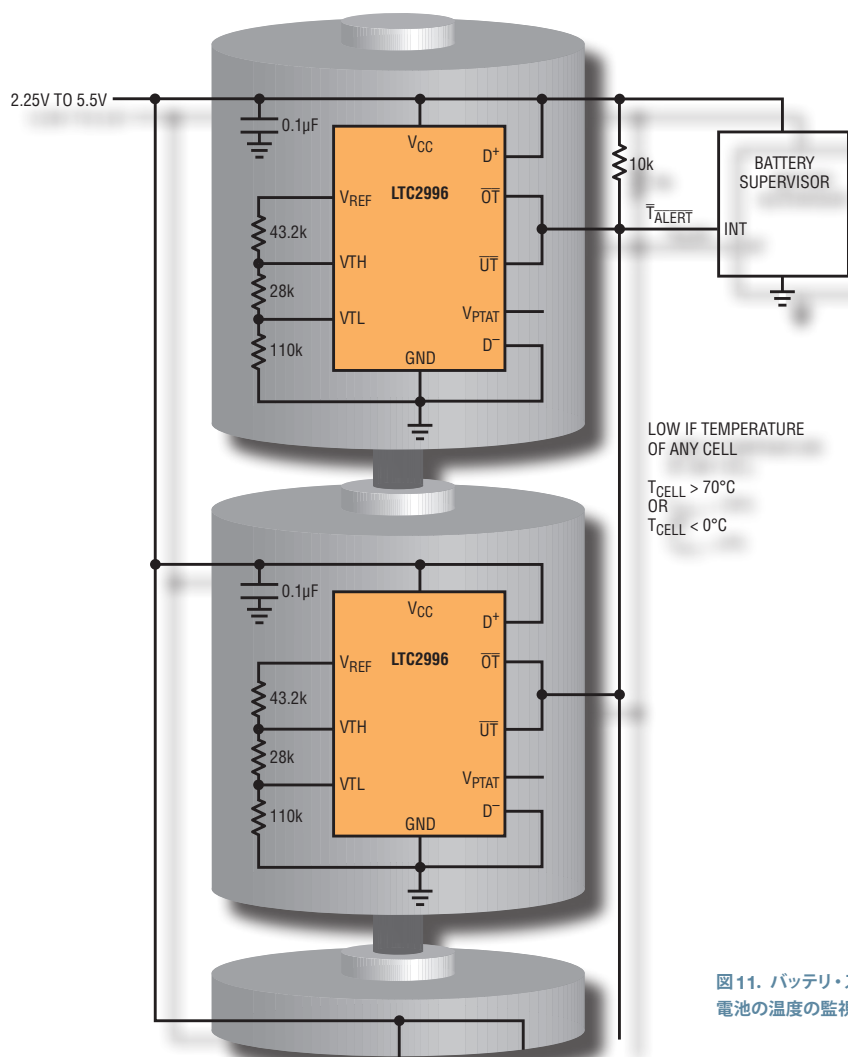


図 11. バッテリー・スタック内の電池の温度の監視

オープンドレイン出力UTが内部プルアップによりNMOSのゲートを駆動し、ファンがオンになります。同様に、温度が $0^{\circ}\text{C}$ より下がるとヒーターがオンになります。

バッテリー関連では、LTC2996はいくつかの異なる電池で構成された大型バッテリーの温度を監視

する目的にも使用できます。損傷した電池、短絡した電池、または使い古した電池は発熱する場合があります、最悪の場合は発火することがあります。LTC2996は、図11に示すように、追加の配線を最小限に抑えながら各電池の温度を個別に監視します。

実際、電池を積み重ねて直列に接続した場合、いずれかの電池の温度が目的の動作範囲から外れたかどうかをモニタするのに必要な追加の配線はわずか3本( $V_{CC}$ 、 $GND$ 、およびアラート出力)に過ぎません。電池を並列に接続し、端子電圧が $2.25\text{V} \sim 5.5\text{V}$ のバッテリー、たとえばリチウムイオン電池をモニタする場合は、各電池の温度を監視するのに配線を1本(アラート出力)追加すれば十分です。

#### 温度モニタとデュアル電圧モニタ/スーパーバイザを兼ね備えたLTC2995

ほぼすべての電子システムでは、温度モニタに加えて複数の電源の電圧監視が要求されます。この要求を満たすため、LTC2995はLTC2996とデュアル電圧スーパーバイザを組み合わせ、図12に示すように2本の電源ラインの過電圧状態および低電圧状態をモニタします。

LTC2995にはチャンネルごとに2つの高電圧入力および低電圧入力が増設されており、これらは $500\text{mV}$ の内部リファレンスと常に比較されます。VH1またはVH2のいずれかの電圧が $500\text{mV}$ より低くなると、LTC2995はUV出力ピンを“L”にすることにより、低電圧状態を警告します。同様に、VL1またはVL2のいずれかの電圧が $500\text{mV}$ より高くなると、OVピンを“L”にすることによって過電圧状態を示します。

モニタしている電源電圧のノイズによる不必要なリセットを防止するため、LTC2995のローパス・フィルタは、UVまたはOVをアサートする前にコンパレータの出力を時間積分しています。コンパレータが出力ロジックを作動させるためには、コンパレータに入力されるトランジェントが十分に大きく、ある程度の時間継続する必要があります。さらに、LTC2995には、すべてのフォルトが解消された後、UVおよびOVのアサート状態を保持するための調整可能なタイム

モニタしている電源電圧のノイズによる不必要なリセットを防止するため、LTC2995のローパス・フィルタは、UVまたはOVをアサートする前にコンパレータの出力を時間積分しています。コンパレータが出力ロジックを作動させるためには、コンパレータに入力されるトランジェントが十分に大きく、ある程度の時間継続する必要があります。

アウト期間( $t_{UOTO}$ )があります。この遅延により、周波数が $1/t_{UOTO}$ を超えるノイズの影響が最小限に抑えられます。さまざまなアプリケーションに対応するためにTMRピンとグラウンドの間にコンデンサ( $C_{TMR}$ )を接続することによってタイムアウト期間( $t_{UOTO}$ )の調整が可能です。

LTC2995は、LTC2997やLTC2996よりも柔軟性の高い温度測定機能およびモニタ機能を備えています。後者のデバイスは、外付けダイオードが接続されると必ず外部モードに切り替わるので、 $D^+$ を $V_{CC}$ に接続して内部ダイオードを測定する必要がありますが、LTC2995にはダイオード選択(DS)ピンが追加されているので、動作中に内部ダイオードと外付けダイオードを切り替えることができます。DSピンをフロートのまま

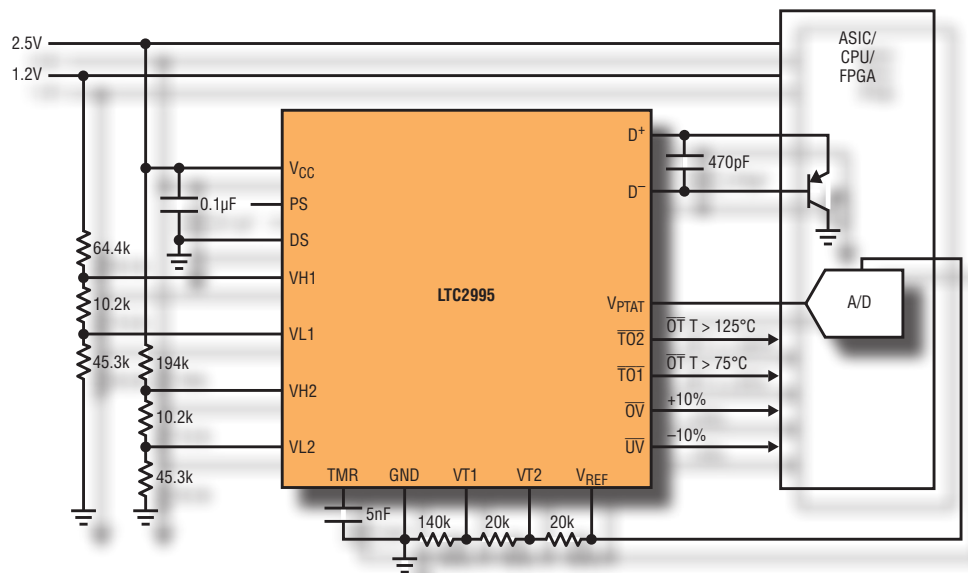
にすると、LTC2995は「ピンポン」モードになり、内部ダイオードと外付けダイオードの測定を約20msの周期で交互に行うようになります。

最後に、LTC2995は極性選択(PS)ピンを使用して、2つの温度しきい値を両方もも超過温度の制限値または両方もも低下温度の制限値に設定できます。この機能により、システムは温度の変化のレベルに合わせて対応することができます。たとえば図12に示すように、温度が75°Cより高くなったら(たとえばファンをオンに切り替えるために)注意の信号を受け取り、125°Cより高くなったら(システムをオフに切り替えるために)アラートを受け取るようにすることなどが考えられます。

#### まとめ

リニアテクノロジーの高精度温度センサ/モニタの新ファミリは、内部ダイオードまたは外付けダイオードをセンサとして使用して、測定した温度に比例するアナログ出力を発生することができます。このファミリは、小型の温度センサから、範囲外の状態を通知できる複合型の温度およびデュアル電圧スーパーバイザに及んでいます。これらのデバイスを用いることにより、複雑さを最小限に抑えつつ、アナログ温度制御ループの構築や、温度(および電圧)のモニタを簡単に行うことができます。■

図12. ±10%のデュアルOV/UV電源と75°C/125°CのOT/OTリモート温度モニタ



### デジタル出力が必要なら

LTC2990およびLTC2991は、デジタルのI<sup>2</sup>C出力および制御だけでなく、電圧および電流の監視機能も備えています。詳細については、[www.linear-tech.co.jp/2990](http://www.linear-tech.co.jp/2990)または[www.linear-tech.co.jp/2991](http://www.linear-tech.co.jp/2991)をご覧ください。