

## ADT6401/ADT6402

### 特長

- スレッシュホールド精度:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (typ)
- ピン設定可能なトリップ・ポイント:
  - 45°C~+5°C: 10°C ステップ(下限温度)
  - 45°C~115°C: 10°C ステップ(上限温度)
- 最大動作温度: 125°C
- オープン・ドレイン出力(ADT6401)
- プッシュプル出力(ADT6402)
- ピン設定可能なヒステリシス: 2°C または 10°C
- 電源電流: 30  $\mu\text{A}$  (typ)
- 省スペースの 6 ピン SOT-23 パッケージを採用

### アプリケーション

- 医用装置
- 車載
- 携帯電話
- ハード・ディスク・ドライブ
- パーソナル・コンピュータ
- テスト装置
- 家電機器
- プロセス制御

### 概要

ADT6401/ADT6402 は、6 ピン SOT-23 パッケージを採用したトリップ・ポイント温度スイッチです。各デバイスは、ローカル温度検出用のバンド・ギャップ温度センサーを内蔵しています。温度がトリップ・ポイント設定値を超えると、ロジック出力が発生されます。ADT6401 のロジック出力は、アクティブ・ローとオープン・ドレインです。ADT6402 のロジック出力は、アクティブ・ハイとプッシュプルです。温度は、0.125°C の分解能 (11 ビット) でデジタル化されます。トリップ・ポイント設定値は、下限温度スイッチング機能に対しては -45°C~+5°C の温度範囲で、上限温度スイッチング機能に対しては 45°C~115°C の温度範囲で、それぞれ 10°C ステップでピン設定可能です。

これらのデバイスの電源電流は 30  $\mu\text{A}$  (typ) です。ヒステリシスは、2°C と 10°C にピン設定可能です。温度スイッチ動作は、2.7 V~5.5 V の電源範囲で規定されています。

ADT6401/ADT6402 を 45°C~115°C の温度モニターに使った場合、温度が設定したトリップ・ポイント温度より高くなると、ロジック出力ピンがアクティブになります。

### 機能ブロック図

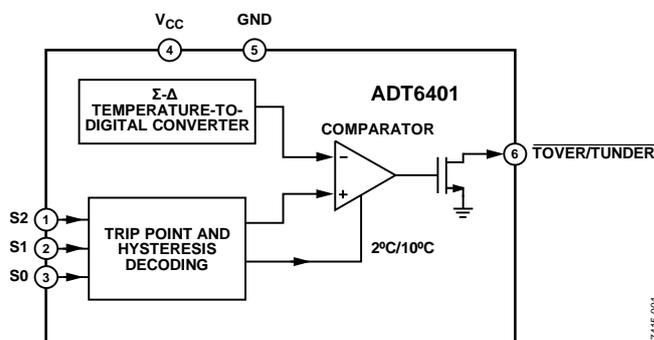


図 1.

ADT6401/ADT6402 を -45°C~+5°C の温度モニターに使った場合、温度が設定したトリップ・ポイント温度より低くなると、ロジック出力ピンがアクティブになります。

### 製品のハイライト

- Σ-Δ を採用した、高精度かつノイズ耐性の高い温度計測
- 広い動作温度範囲: -55°C~+125°C
- 45°C~+115°C で  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (typ) の高精度
- 45°C~+115°C の温度範囲でスレッシュホールドを 10°C ステップでピン設定可能
- 電源電圧: 2.7 V~5.5 V
- 電源電流: 30  $\mu\text{A}$
- 省スペースの 6 ピン SOT-23 パッケージを採用
- ピン設定可能なヒステリシス: 2°C または 10°C
- 温度分解能: 0.125°C

## 目次

特長.....	1	動作原理.....	9
アプリケーション.....	1	回路説明.....	9
機能ブロック図.....	1	コンバータの詳細.....	9
概要.....	1	ピン設定可能なトリップ・ポイント値とヒステリシス値.....	9
製品のハイライト.....	1	温度変換.....	10
改訂履歴.....	2	アプリケーション情報.....	11
仕様.....	3	熱応答時間.....	11
絶対最大定格.....	4	自己発熱効果.....	11
ESD の注意.....	4	電源のデカップリング.....	11
ピン配置およびピン機能説明.....	5	温度モニタリング.....	11
代表的な性能特性.....	6	外形寸法.....	12
代表的なアプリケーション回路.....	8	オーダー・ガイド.....	12

## 改訂履歴

5/08—Revision 0: Initial Version

## 仕様

特に指定のない限り、 $T_A = -55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC} = 2.7\text{ V} \sim 5.5\text{ V}$ 、オープン・ドレイン  $R_{PULL-UP} = 10\text{ k}\Omega$ 。

表 1.

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions/Comments
TEMPERATURE SENSOR AND ADC					
Threshold Accuracy		$\pm 0.5$	$\pm 6$	$^\circ\text{C}$	$T_A = -45^\circ\text{C}$ to $-25^\circ\text{C}$
		$\pm 0.5$	$\pm 4$	$^\circ\text{C}$	$T_A = -15^\circ\text{C}$ to $+15^\circ\text{C}$
		$\pm 0.5$	$\pm 4$	$^\circ\text{C}$	$T_A = 35^\circ\text{C}$ to $65^\circ\text{C}$
		$\pm 0.5$	$\pm 6$	$^\circ\text{C}$	$T_A = 75^\circ\text{C}$ to $115^\circ\text{C}$
ADC Resolution		11		Bits	
Temperature Conversion Time		30		ms	Time necessary to complete a conversion
Update Rate		600		ms	Conversion started every 600 ms
Temperature Threshold Hysteresis		2		$^\circ\text{C}$	Pin selectable, depends on S0, S1, S2 settings
		10		$^\circ\text{C}$	Pin selectable, depends on S0, S1, S2 settings
DIGITAL OUTPUT (OPEN-DRAIN)					
Output High Current, $I_{OH}$		10		nA	Leakage current, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ and $V_{OH} = 5.5\text{ V}$
Output Low Voltage, $V_{OL}$			0.3	V	$I_{OL} = 1.2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 2.7\text{ V}$
			0.4	V	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.5\text{ V}$
Output Capacitance, $C_{OUT}^1$			10	pF	$R_{PULL-UP} = 10\text{ k}\Omega$
DIGITAL OUTPUT (PUSH-PULL)					
Output Low Voltage, $V_{OL}$			0.3	V	$I_{OL} = 1.2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 2.7\text{ V}$
			0.4	V	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.5\text{ V}$
Output High Voltage, $V_{OH}$	$0.8 \times V_{CC}$			V	$I_{SOURCE} = 500\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 2.7\text{ V}$
	$V_{CC} - 1.5$			V	$I_{SOURCE} = 800\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.5\text{ V}$
Output Capacitance, $C_{OUT}^1$			10	pF	
POWER REQUIREMENTS					
Supply Voltage	2.7		5.5	V	
Supply Current		30	50	$\mu\text{A}$	

<sup>1</sup> デザインとキャラクタライゼーションにより保証します。

## 絶対最大定格

表 2

Parameter	Rating
V <sub>CC</sub> to GND	-0.3 V to +7 V
S0, S1, S2 Input Voltage to GND	-0.3 V to V <sub>CC</sub> + 0.3 V
Open-Drain Output Voltage to GND	-0.3 V to +7 V
Push-Pull Output Voltage to GND	-0.3 V to V <sub>CC</sub> + 0.3 V
Input Current on All Pins	20 mA
Output Current on All Pins	20 mA
ESD rating (HBM)	1.5 kV
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
Maximum Junction Temperature, T <sub>JMAX</sub>	150.7°C
6-Lead SOT-23 (RJ-6)	
Power Dissipation <sup>1</sup>	$W_{MAX} = (T_{JMAX} - T_A^2)/\theta_{JA}$
Thermal Impedance <sup>3</sup>	
θ <sub>JA</sub> , Junction-to-Ambient (Still Air)	229.6°C/W
IR Reflow Soldering (RoHS-Compliant Package)	
Peak Temperature	260°C (+0°C)
Time at Peak Temperature	20 sec to 40 sec
Ramp-Up Rate	3°C/sec maximum
Ramp-Down Rate	-6°C/sec maximum
Time 25°C to Peak Temperature	8 minute maximum

上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格の規定のみを目的とするものであり、この仕様の動作の節に記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くとデバイスの信頼性に影響を与えます。

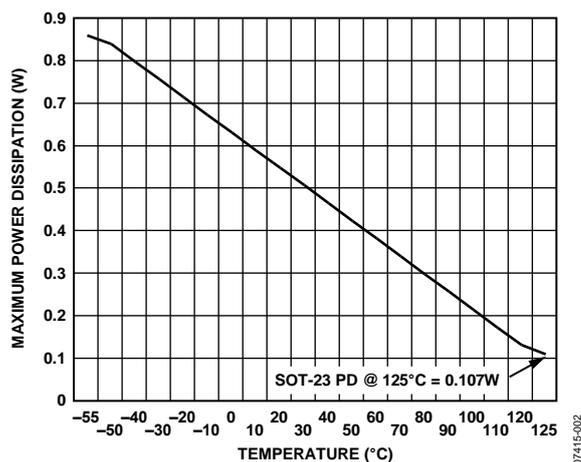


図 2.SOT-23 最大消費電力の温度特性

<sup>1</sup> 値は、ワースト・ケースの θ<sub>JA</sub>を持つ標準 2 層 PCB 上で使用するパッケージに関係します。最大消費電力対周囲温度(T<sub>A</sub>)のプロットについては図 2 を参照してください。

<sup>2</sup> T<sub>A</sub> = 周囲温度。

<sup>3</sup> ジャンクション-ケース間の抵抗は、特定の流れ方向を持つデバイス、例えばヒート・シンク上に実装したデバイスに適用可能です。空冷 PCB に実装されたデバイスに対しては、ジャンクション-周囲間の抵抗の方が適しています。

## ESD の注意



ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

## ピン配置およびピン機能説明

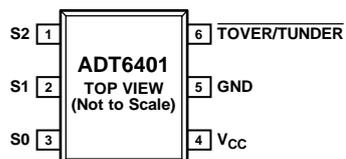


図 3.ADT6401 のピン配置

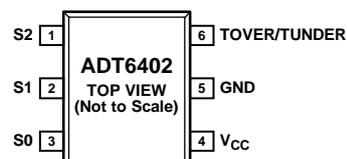


図 4.ADT6402 のピン配置

表 3. ピン機能の説明

ピン番号		記号	説明
ADT6401	ADT6402		
1	1	S2	トリップ・ポイント値とヒステリシス値のセレクト・ピン。
2	2	S1	トリップ・ポイント値とヒステリシス値のセレクト・ピン。
3	3	S0	トリップ・ポイント値とヒステリシス値のセレクト・ピン。
4	4	V <sub>CC</sub>	電源入力(2.7 V~5.5 V)。
5	5	GND	グラウンド。
6	—	TOVER/TUNDER	アクティブ・ローのオープン・ドレイン出力。プルアップ抵抗が必要。デバイスの温度がピン設定可能なスレッシュホールドを超えると、このピンがロー・レベルになります。
—	6	TOVER/TUNDER	アクティブ・ハイのプッシュプル出力。デバイスの温度がピン設定可能なスレッシュホールドを超えると、このピンがハイ・レベルになります。

代表的な性能特性

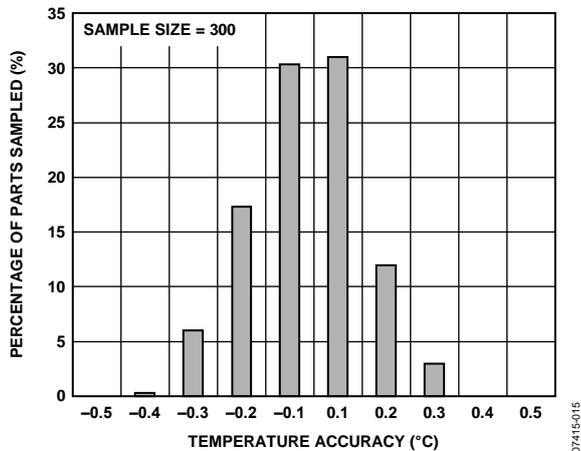


図 5.トリップ・スレッシュホールドの精度

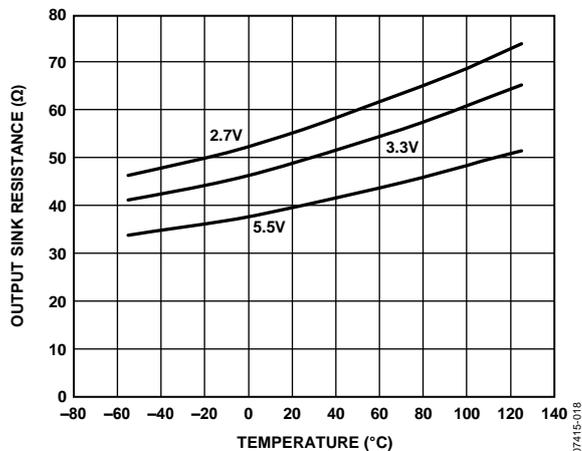


図 8.出力シンク抵抗の温度特性

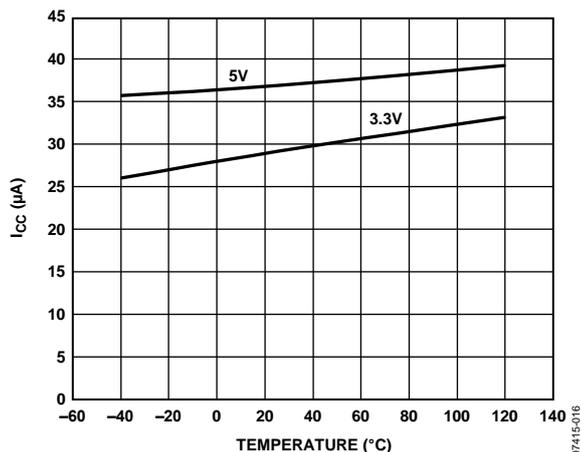


図 6.動作電源電流の温度特性

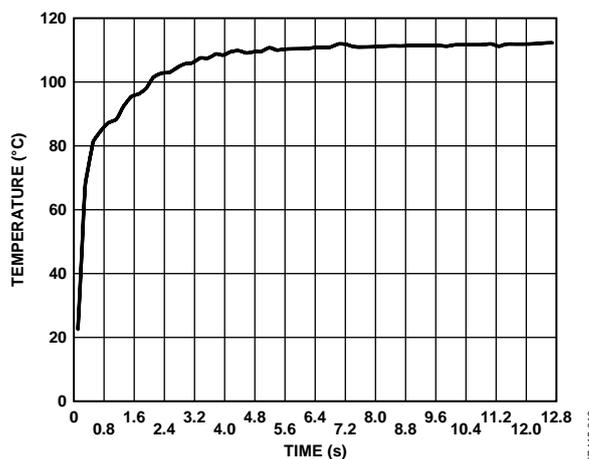


図 9.ペルフルオロ流体内でのサーマル・ステップ応答

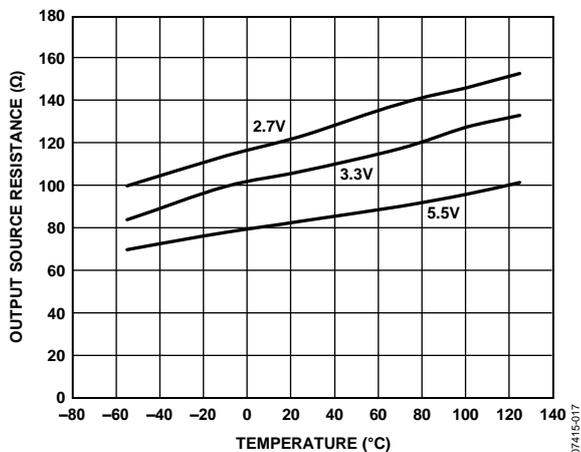


図 7.ADT6402 出力ソース抵抗の温度特性

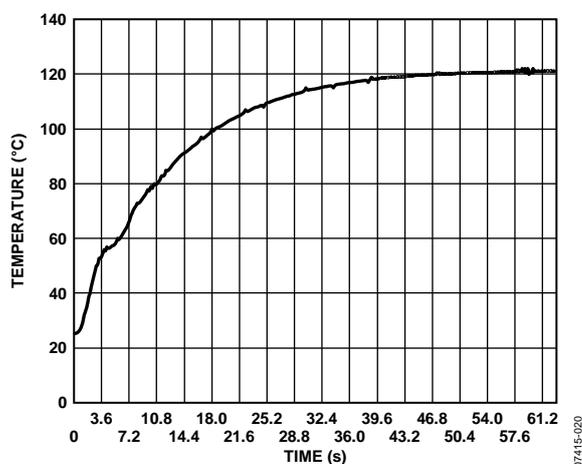


図 10.自然空冷でのサーマル・ステップ応答

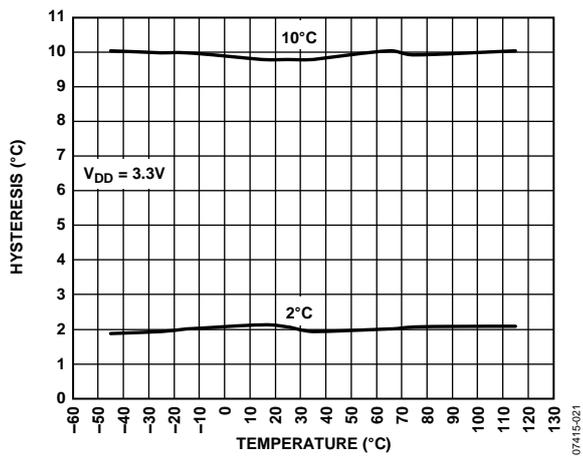


図 11. ヒステリシス対トリップ温度

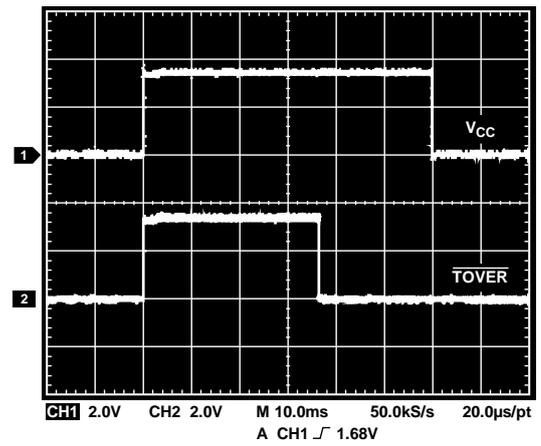


図 13. ADT6401 のスタートアップ遅延

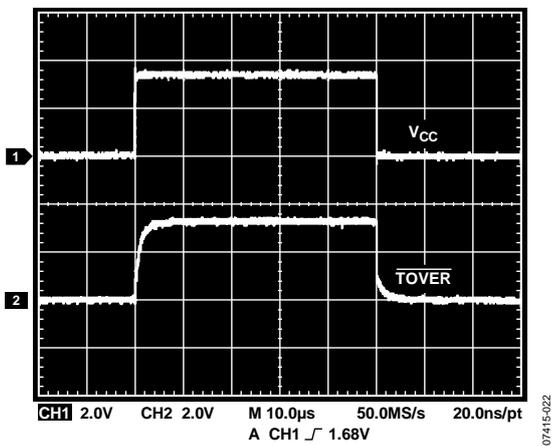


図 12. ADT6401 のスタートアップとパワーダウン遅延

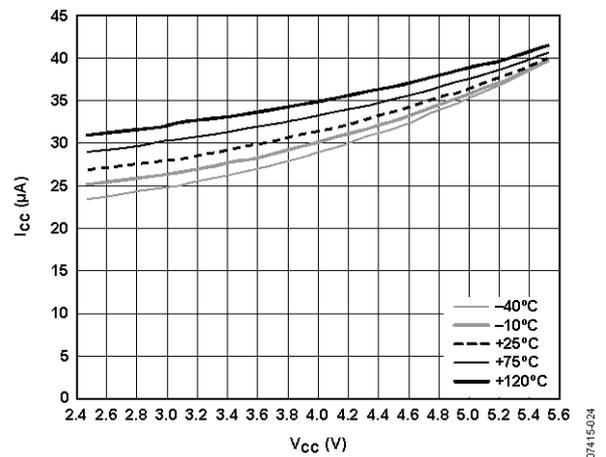


図 14. さまざまな温度での電源電流対電圧

代表的なアプリケーション回路

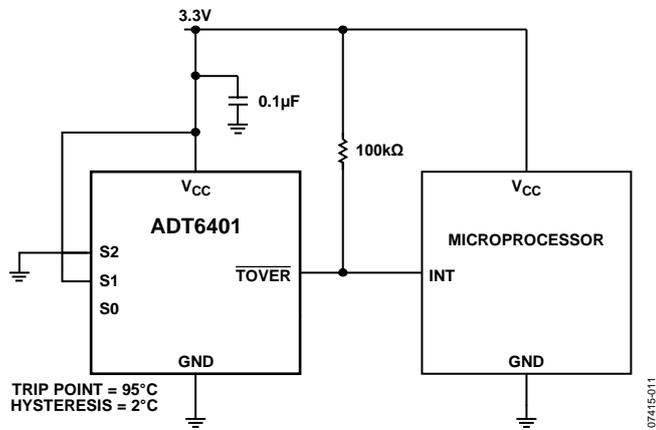


図 15. マイクロプロセッサ・アラーム

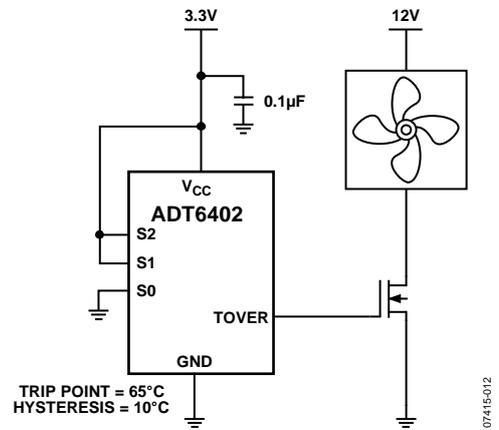


図 16. ファンの温度上昇制御

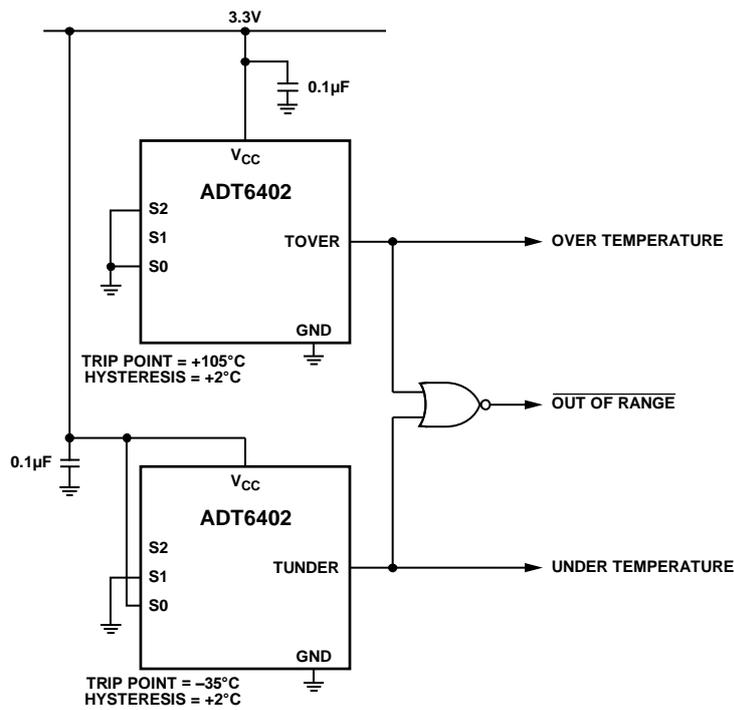


図 17. 温度ウィンドウ・アラーム

## 動作原理

### 回路説明

ADT6401/ADT6402 は、12 ビット目が符号ビットとして機能する 11 ビット・デジタル温度センサーです。内蔵センサが絶対温度に正確に比例する電圧を発生し、この電圧が内蔵レファレンス電圧と比較されて、高精度のデジタル変調器に入力されます。変調器からの 12 ビット出力はデジタル・コンパレータに入力され、ここでピン設定可能なトリップ・レベルと比較されます。測定された温度がピン設定可能なトリップ・レベルより高いか、または低いときに、出力トリップ・ピンがアクティブになります。-45°C~+115°C での ADT6401/ ADT6402 の全体精度は±6°C (最大)です。

内蔵温度センサは定格温度範囲で優れた精度と直線性を持っているため、ユーザによる補正またはキャリブレーションは不要です。ADT6401 は、電流をシンクできるアクティブ・ローのオープン・ドレイン出力構造を持っています。ADT6402 は、電流のシンクとソースが可能なアクティブ・ハイのプッシュプル出力構造を持っています。パワーアップ時、最初の変換が完了したときに出力がアクティブになり、これには 30 ms を要します。

センサー出力は、1 次の  $\Sigma$ - $\Delta$  変調器によりデジタル化され、これは電荷平衡型 A/D コンバータとも呼ばれています。このタイプのコンバータは、時間領域オーバーサンプリングと高精度コンパレータを採用する極めて小型な回路で 11 ビットの実効精度を提供します。

### コンバータの詳細

$\Sigma$ - $\Delta$  変調器は、入力サンプラ、加算回路、積分器、コンパレータ、1 ビット D/A コンバータ(DAC)から構成されています。このアーキテクチャは電圧/周波数コンバータと同様に、実質的に負帰還ループを構成しています。この負帰還ループは、入力電圧の変化に応じてコンパレータ出力のデューティ・サイクルを変化させることにより、積分器出力を小さくするように動作します。コンパレータは、入力サンプリング周波数より遥かに高いレートで積分器出力をサンプルします。これはオーバーサンプリングと呼ばれています。オーバーサンプリングにより、量子化ノイズが入力信号より遥かに広い帯域に拡散されるため、全体のノイズ性能と精度が改善されます。

### ピン設定可能なトリップ・ポイント値とヒステリシス値

ADT6401/ADT6402 の温度トリップ・ポイント値とヒステリシス値は、ピン S0、ピン S1、ピン S2 を使って設定することができます。これら 3 本のピンは V<sub>CC</sub> または GND に接続する他、解放のままにすることができます。ADT6401/ADT6402 は S0、S1、S2 からの入力をデコードして、温度トリップ・ポイント値とヒステリシス値を決定します(表 4 参照)。

ADT6401 の上限温度出力/下限温度出力は、マイクロプロセッサのリセット入力ヘインターフェースするようにデザインされています。ADT6402 は、ファン制御回路のようなアプリケーション回路を駆動するようにデザインされています。

表 4. トリップ・ポイント値とヒステリシス値の設定<sup>1</sup>

S2	S1	S0	Temperature Trip Point	Hysteresis
0	0	0	+45°C	2°C
0	0	1	+55°C	2°C
0	0	Float	+65°C	2°C
0	1	0	+75°C	2°C
0	1	1	+85°C	2°C
0	0	Float	+95°C	2°C
0	Float	0	+105°C	2°C
0	Float	1	+115°C	2°C
1	Float	Float	+55°C	10°C
1	0	0	+65°C	10°C
1	0	1	+75°C	10°C
1	0	Float	+85°C	10°C
1	1	0	+95°C	10°C
1	1	1	+105°C	10°C
1	1	Float	+115°C	10°C
1	Float	0	+5°C	2°C
1	Float	1	-5°C	2°C
1	Float	Float	-15°C	2°C
Float	0	0	-25°C	2°C
Float	0	1	-35°C	2°C
Float	0	Float	-45°C	2°C
Float	1	0	+5°C	10°C
Float	1	1	-5°C	10°C
Float	1	Float	-15°C	10°C
Float	Float	0	-25°C	10°C
Float	Float	1	-35°C	10°C
Float	Float	Float	-45°C	10°C

<sup>1</sup> 0 = ピンを GND へ接続、1 = ピンを V<sub>CC</sub> へ接続、Float = ピンを解放。

## ヒステリシス

2°C または 10°C のヒステリシス値を設定することができます。デジタル・コンパレータは、ヒステリシス値の精度を保証します。ヒステリシスは、温度がトリップ・ポイントに近づいたときに、出力ピンがアクティブになった後に、出力ピンで発振が生ずるのを防止します。たとえば、温度トリップが 45°C で、かつヒステリシスが 10°C の場合、温度が 35°C まで下がらないと、出力は非アクティブになりません。

## 温度変換

デバイスの変換クロックは内部で発生されます。外部クロックは不要です。内蔵クロック発振器は、自動変換シーケンスで動作します。この自動変換シーケンスでは、変換が 600 ms ごとに行われます。この時点で、デバイスのアナログ回路がパワーアップして温度変換を実行します。

この温度変換には 30  $\mu$ s (typ 値) を要し、この時間経過後にデバイスは自動的にシャットダウンします。アナログ回路は、570 ms 後に再度パワーアップし、600 ms のタイマ時間経過後に次の変換が開始されます。直前の温度変換結果は、出荷時設定のトリップ・ポイント値と比較されます。測定温度がトリップ・ポイント値より高いとき、出力がアクティブになります。温度がトリップ・ポイント・スレッショルドと設定した温度ヒステリシス値の和を超えて回復したときに、出力が非アクティブになります。図 18～図 21 に、各デバイス・モデルの出力トリップ・ピンの伝達関数を示します。

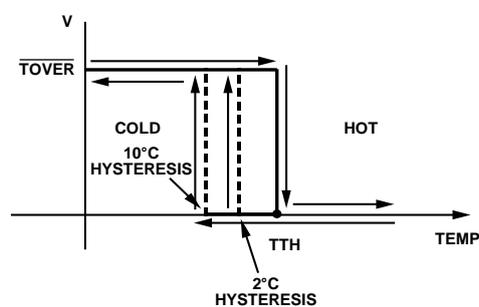


図 18.ADT6401 の TOVER の伝達関数

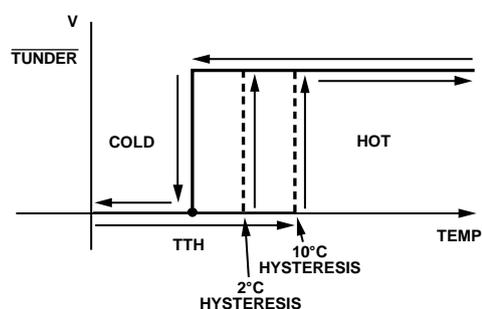


図 20.ADT6401 の TUNDER の伝達関数

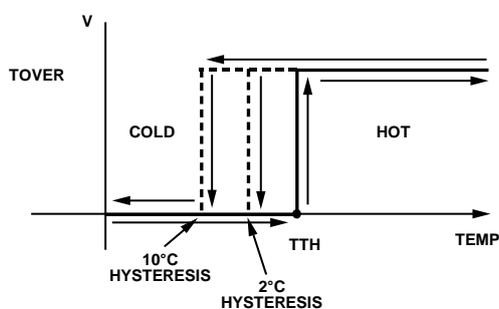


図 19.ADT6402 の TOVER の伝達関数

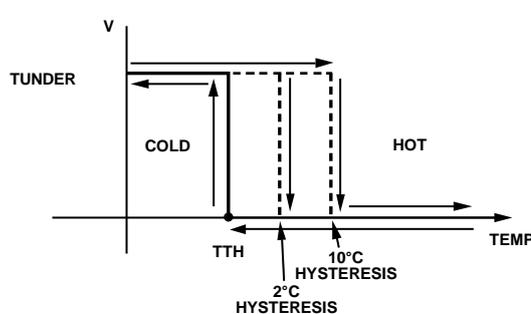


図 21.ADT6402 の TUNDER の伝達関数

## アプリケーション情報

### 熱応答時間

温度センサが仕様精度内に安定するために要する時間は、センサの熱容量、およびセンサと被測定物との間の熱伝導性の関数になっています。熱容量は、容量(コンデンサ)と等価と見なすことができます。熱伝導性は一般に記号  $Q$  で表され、熱抵抗と見なされ、熱接合を通過する単位エネルギー当たりの温度上昇、すなわち一般に度/ワットの単位で表されます。したがって、ADT6401/ADT6402 が所定の精度に安定するために要する時間は、使用するパッケージ、特定のアプリケーションで使用される熱的結合、熱源の等価エネルギーに依存します。多くのアプリケーションで、セトリング・タイムは経験的に決定されています。

### 自己発熱効果

アプリケーションによっては、ADT6401/ ADT6402 の温度測定精度が自己発熱により低下することがあります。誤差は、静止消費電力と変換時の消費電力により発生します。これらの温度誤差の大きさは、ADT6401/ADT6402 パッケージの熱伝導性、実装技術、空気流に依存します。25°C での、ADT6401/ ADT6402 の静止消費電力は、3.3 V 動作時 99  $\mu$ W (typ) です。自然空冷の 6 ピンの SOT-23 パッケージでは、自己発熱によるこの温度上昇は次式で表されます。

$$\Delta T = P_{DISS} \times \theta_{JA} = 99 \mu\text{W} \times 240^\circ\text{C/W} = 0.024^\circ\text{C}$$

温度誤差はデバイスを流れる電流に直接比例するため、最小にすることが推奨されます。

### 電源のデカップリング

ADT6401/ADT6402 は、 $V_{CC}$  と GND の間に 0.1  $\mu$ F セラミック・コンデンサを接続してデカップリングする必要があります。これは、ADT6401/ADT6402 を電源から離れて実装する場合に特に重要です。ADT6401/ADT6402 のような高精度アナログ製品では、フィルタされた電源が必要です。ADT6401/ADT6402 は単電源で動作するため、デジタル・ロジック電源から単純に分岐することで済むと考えることもできますが、残念ながら、ロジック電源はスイッチ・モード・デザインである場合が多いため、20 kHz ~ 1 MHz の範囲でノイズを発生します。さらに、高速なロジック・ゲートが、配線の抵抗とインダクタンスに起因して、数百 mV もの振幅を持つグリッチを発生することがあります。

可能な場合は、ADT6401/ADT6402 をシステム電源に直接接続することが望まれます。図 22 に示す接続では、ロジック・スイッ

チングの過渡電圧からアナログ部分を分離しています。電源パターンの分離が不可能な場合でも、一般的な電源バイパスを使うと、電源ラインから混入する誤差を小さくすることができます。温度精度仕様を実現するためには、0.1  $\mu$ F のセラミック・コンデンサで構成するローカルな電源バイパスは不可欠です。このデカップリング・コンデンサは、ADT6401/ADT6402 の  $V_{CC}$  ピンのできるだけ近くに接続する必要があります。

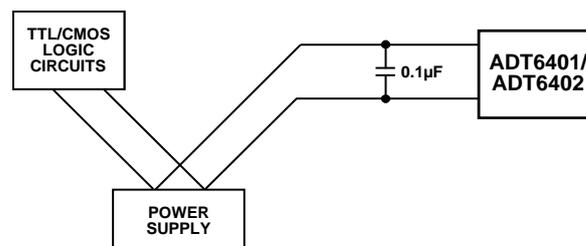


図 22. 電源ノイズを減らすための電源パターンの分離

### 温度モニタリング

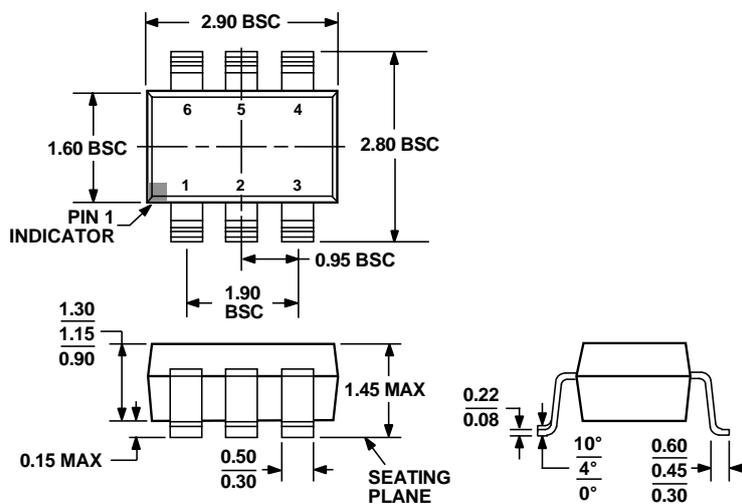
ADT6401/ADT6402 は、電子装置内部の熱環境のモニタリングに最適です。例えば、表面実装型パッケージは集積回路の近傍に影響を与える熱状態を正確に反映します。

ADT6401/ADT6402 は、自分自身の半導体チップの表面温度を測定して変換します。ADT6401/ ADT6402 を使って熱源近くの温度を測定する場合、熱源と ADT6401/ADT6402 との間の熱抵抗を考慮する必要があります。

熱源から ADT6401/ADT6402 チップ上のサーマル・センサーへ輸送される熱の 60%は、銅パターン、パッケージ・ピン、ボンド・パッドを経由します。最も多くの熱が、ADT6401/ADT6402 ピンの中でも GND ピンを経由します。このため、熱源の温度をモニターするときは、ADT6401/ ADT6402 の GND ピンと熱源の GND との間の熱抵抗をできるだけ小さくすることが推奨されます。

ADT6401/ADT6402 の独自の機能を使う 1 つの例は、消費電力が大きいマイクロプロセッサのモニタリングです。SOT-23 パッケージを採用した ADT6401/ADT6402 デバイスを、マイクロプロセッサのピン・グリッド・アレイ (PGA) パッケージの真下に配置します。ADT6401/ADT6402 には外部のキャラクタライゼーションは不要です。

## 外形寸法



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-178-AB

図 23.6 ピン・スモール・アウトライン・トランジスタ・パッケージ[SOT-23]  
(RJ-6)  
寸法: mm

## オーダー・ガイド

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option	Ordering Quantity	Branding
ADT6401SRJZ-RL7 <sup>1</sup>	-55°C to +125°C	6-Lead SOT-23	RJ-6	3,000	T30
ADT6402SRJZ-RL7 <sup>1</sup>	-55°C to +125°C	6-Lead SOT-23	RJ-6	3,000	T32

<sup>1</sup> Z = RoHS 準拠製品