

Application Note

過熱および低温システムのアラートを設計する方法



Meredith McKean

概要

この記事では、アラート機能の選択に関する詳細なガイドと、TI の温度製品ラインアップで利用できるすべての構成について説明します。テキサス インストルメンツ (TI) の温度センサは包括的なアラートおよび割り込み機能を備えており、熱イベントの検出、応答、保護をリアルタイムで行えるように設計されています。製品ラインアップ全体で、これらのデバイスはプログラマブルな温度スレッシュホールド、ヒステリシス、比較ロジックをサポートしており、測定温度が定義制限値を上回ったときまたは下回ったときにアラート出力をアサートできます。アラートは、過熱、低温、ウィンドウ条件に対して構成できます。アラート信号はアクティブ High またはアクティブ Low の信号として利用できます。アラート信号はプッシュプル出力またはオープンドレイン出力として提供されます。これらのアラート機能を組み合わせると、産業用、車載、顧客の各アプリケーション全体で、事前の熱管理、故障検出、システム安全性を実現すると同時に、ファームウェアのオーバーヘッドと応答時間を最小に抑えることができます。この資料では、TI の温度センサ製品フルラインアップ全体で利用できるアラート機能を説明および要約し、最もよく売れているデバイスを比較しています。

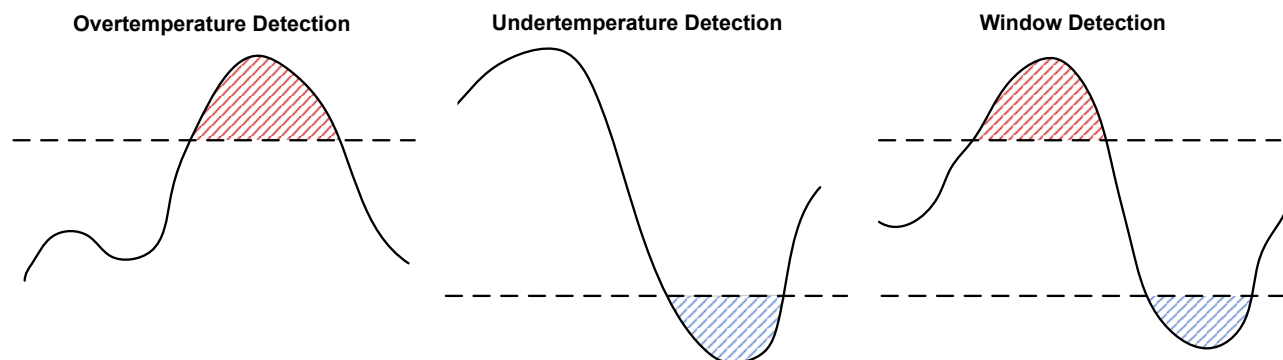


図 1-1. アラートの種類

目次

1 はじめに	3
1.1 設計のワークフロー.....	4
1.2 TMP390 ウィンドウ アラートの例.....	4
1.3 TMP390 のコールドトリップの例.....	4
2 スレッシュホルド	5
2.1 ヒステリシス.....	5
2.2 応答時間.....	6
2.3 過熱スレッシュホルド.....	7
2.4 低温スレッシュホルド.....	7
2.5 ウィンドウ監視スレッシュホルド.....	9
3 アラート出力の種類	10
3.1 極性.....	10
3.2 コンパレータ/割り込みモード.....	10
3.3 ラッチ機能.....	11
3.4 故障およびマスキング条件.....	11
3.5 アーキテクチャの種類 (プッシュプルとオープンドレインとの関係).....	11
3.6 デジタル出力.....	12
4 スイッチ	13
5 温度アラート製品ライン	14
6 まとめ	15
7 参考資料	15

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

熱イベントが制御されないと、早期の部品故障、バッテリー ハザード、システムの信頼性が損なわれる可能性があります。これらのリスクを低減するため、最新の電子システムにはアラート機能を備えた温度センサが内蔵されており、冷却、シャットダウン、アラーム応答を自律的にトリガできます。アプリケーションによっては、安全性、性能、信頼性の要件に合わせてアラート動作が最適化される場合があります。アラート信号を使用する一般的なアプリケーションを、表 1-1 に示します。このアプリケーションノートでは、TI の温度センサ製品ラインで利用できるアラート機能を紹介し、熱保護アプリケーションでのデバイスの選択と構成に関するガイダンスを提供しています。この資料では、ヒステリシスや各種出力構成などのトピックについて説明します。この資料は、一般的なアラートの実装を考察し、デバイスの主な機能を比較し、設計の実際の検討事項とシステム統合を簡素化する回路例を紹介します。

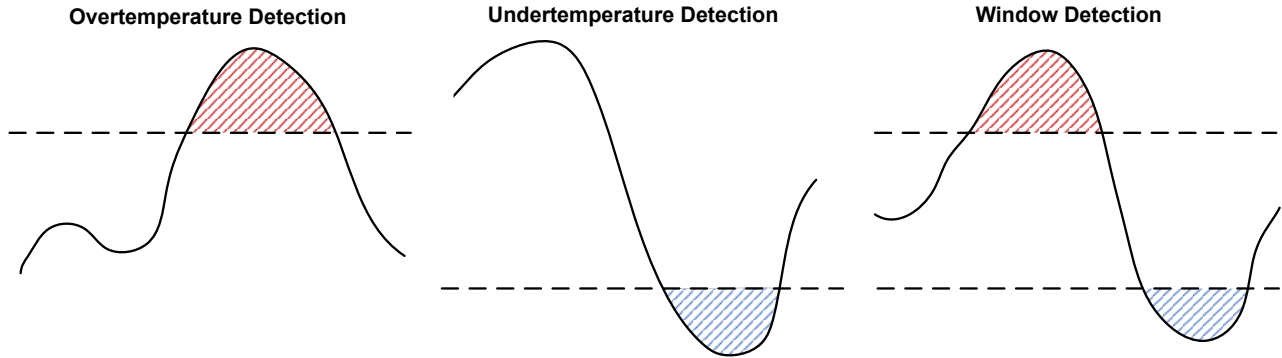


図 1-1. アラートの種類

表 1-1. 各アラートの種類のユース ケース

アラートタイプ	過熱	低温	ウィンドウ
サンプル アプリケーション	プロセッサ、パワー エレクトロニクス、他の IC などの処理部品の熱保護	TFT (薄膜トランジスタ) ディスプレイ 向け低温保護	リチウム イオン バッテリー システムの 充電サイクルとストレージ監視
アラート制限の例	85C~125C	-30C	0C、45C
デバイスの例	TMP4718	TMP390	TMP115

1.1 設計のワークフロー

以下の内容は、アラート機能用のデバイスを選択する方法です。このアプリケーション ノートに含まれている各セクションがステップ内でリンクされています。

1. 温度パラメータを決定: 目標の温度制限と必要なスレッショルドの合計数を決定します。
2. ヒステリシスの値を指定: 目的の温度制限に適したヒステリシスの値を識別します。
3. アラート スレッショルドの種類を選択: 過熱、低温、ウィンドウ監視のいずれかを選択します。
4. アラート出力の構成を指定: 極性、コンパレータ/割り込み、故障条件、アーキテクチャの種類、アナログ/デジタル インターフェイスの要件を決定します
5. 製品選択のフィルタ: 表 5-1 を使用して、条件に一致するデバイスを検索します。
6. データシートのガイダンスを使用して、選択したデバイス内で必要な設定を構成します

1.2 TMP390 ウィンドウ アラートの例

TMP390 は、過熱、低温、またはウィンドウ アラートの構成を実装するための信頼性の高いソリューションです。コールドおよびホット両方のトリップ チャンネルを採用しています。アラート スレッショルドを調整するには、SETA および SETB の入力ピンに接続されている抵抗を変更する必要があります。出力はオープンドレインであり、適切に接続するにはプルアップ抵抗が必要です。

たとえば、図 1-2 に示すように、TMP390 をウィンドウ比較用に構成できます。この構成では、過熱検出が 10°C のヒステリシスで 90°C に設定され、低温検出が 10°C のヒステリシスで -25°C に設定されます。

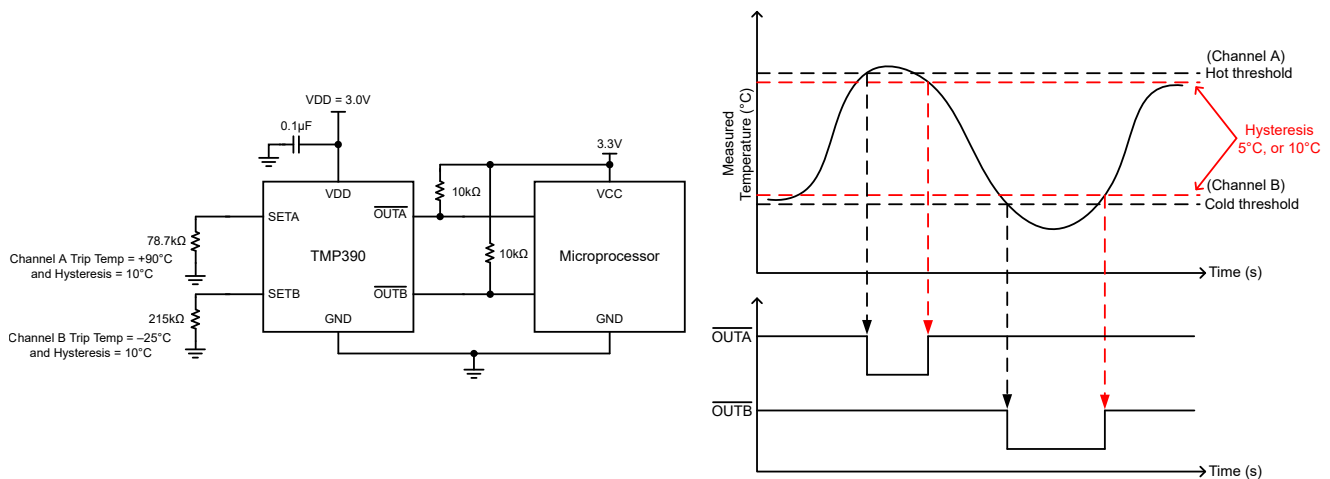


図 1-2. TMP390 ウィンドウ アラートの例

1.3 TMP390 のコールドトリップの例

TMP390 は低温検出専用にも設定できます。以下の例は、0°C の温度検出での低温 (コールドトリップ) 動作用にデバイスを構成する方法を示しています。

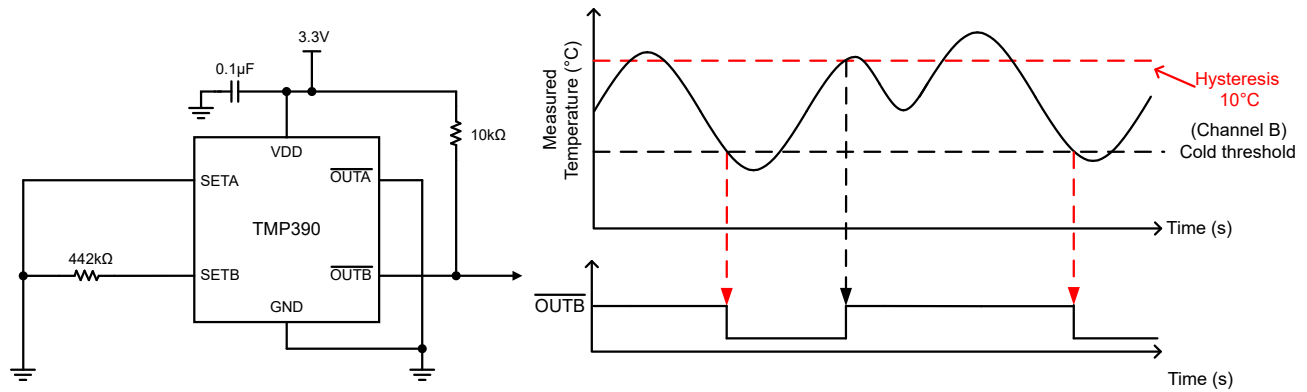


図 1-3. TMP390 のコールドトリップの例

2 スレッショルド

2.1 ヒステリシス

過熱および低温のアラート スレッショルドを定義する前に、アラート ヒステリシスの概念と、監視システムでアラートが重大である理由を理解しておくことが大切です。実際のアプリケーションでは、センサの測定値は、電氣的ノイズ、環境の変化、またはシステムの通常の変動によってわずかに上下する場合があります。ヒステリシスはアラートが回復する必要がある差分を定義します。アラート制限を超えると、ヒステリシスが満たされるまでアラート制限が継続されます。ヒステリシスがないうち、これらの小さな変動が発生すると、測定値がスレッショルドに近い値で上下するとアラートのトリガとクリアが繰り返される場合があります。ヒステリシス スレッショルドは、システムに存在するノイズの振幅に基づいて選択する必要があります。ノイズ振幅が大きくなるにつれて、誤トリガを防止するためにヒステリシス ウィンドウも大きくする必要があります。適切な方法は、ヒステリシスをノイズのピーク ツー ピークの振幅の 2 倍の大きさに設定することです。ヒステリシス付きコンパレータのリファレンス デザイン は、ヒステリシスによって出力信号を改善する方法例を示しています。

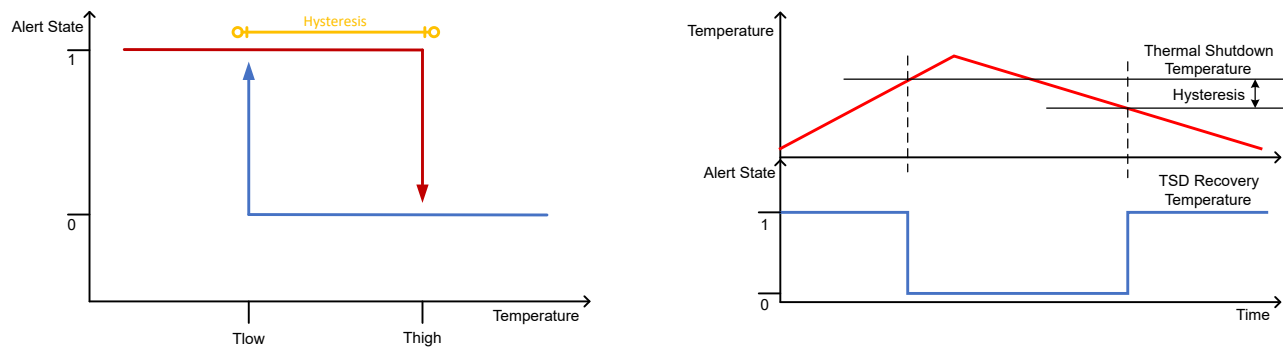


図 2-1. アクティブ Low のヒステリシス

温度センサ内でヒステリシスを定義できるオプションは複数あります。TI の製品ラインには以下の構成が含まれます。

- 抵抗設定: 熱ヒステリシス量を設定するために抵抗を使用 (TMP390)
- ピン プログラマブル: 熱ヒステリシス量を設定するためにピンを使用 (TMP303, TMP302)
- 出荷時プリセット: TI の工場 でヒステリシスを設定 (LM26LV)
- I2C レジスタ変更可能: 目的のヒステリシスを I2C レジスタに書き込み (TMP112, TMP119)

2.2 応答時間

応答時間を評価すると、熱イベント発生中に、システムが安全な動作マージン内に応答できるようになります。図 2-2 は、応答時間のない理想的な条件を示しています。この場合、温度が温度制限を超えたときにアラート信号がオンになります。

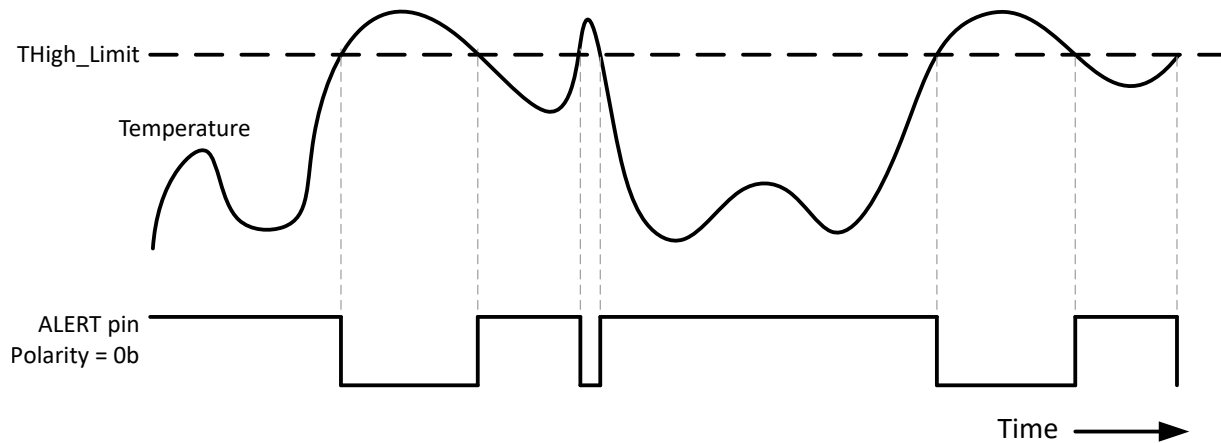


図 2-2. 理想的な過熱検出

これは理想的なケースです。アナログ温度センサとスイッチは理想的なケースに従います。デジタル温度センサの場合、アラート出力の変更は、全変換の完了後にのみ有効になります。変換とは、アナログ温度を測定して、レジスタに保存されるデジタル値に変換するプロセスを意味します。温度センサは温度レジスタを個別の変換間隔で更新するため、図 2-3 に示すように、アラート応答は本質的に量子化されるのに時間がかかります。これによりアラート出力に遅延が追加されます。遅延の長さは構成された変換レートによって異なります。この変換レートはデバイスのデータシートに記載されています。保護または監視の方式を設計する際には、システムの応答時間に、この変換レイテンシを考慮する必要があります。

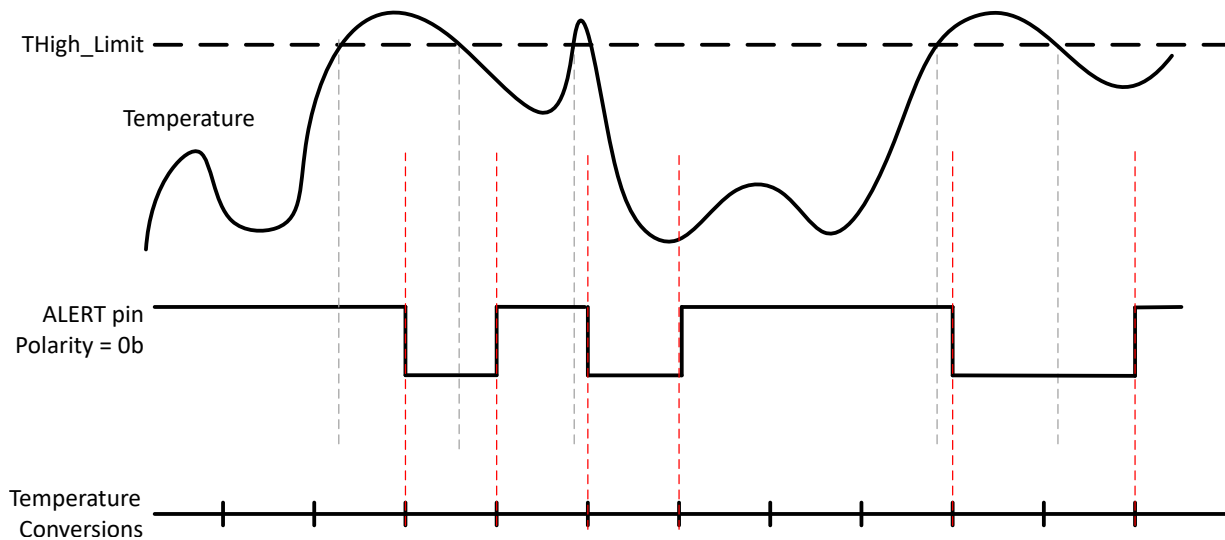


図 2-3. 現実的な過熱検出

2.3 過熱スレッシュヨルド

TI では、過熱検出のみに構成できるデバイスの選択肢を提供しています。図 2-4 は、ヒステリシスと応答時間が適切な過熱信号の例を示しています。性能を最適化するために、多くの TI 温度センサでは、 T_{High} 上限と連動する T_{Low} スレッシュヨルド (またはヒステリシス) も実装しています。 T_{Low} スレッシュヨルド (ヒステリシス) は、 T_{High} を超えてトリガされた後にアラート条件がクリアされる温度を決定します。 T_{Low} はアラートが回復する設定温度の値を定義します。

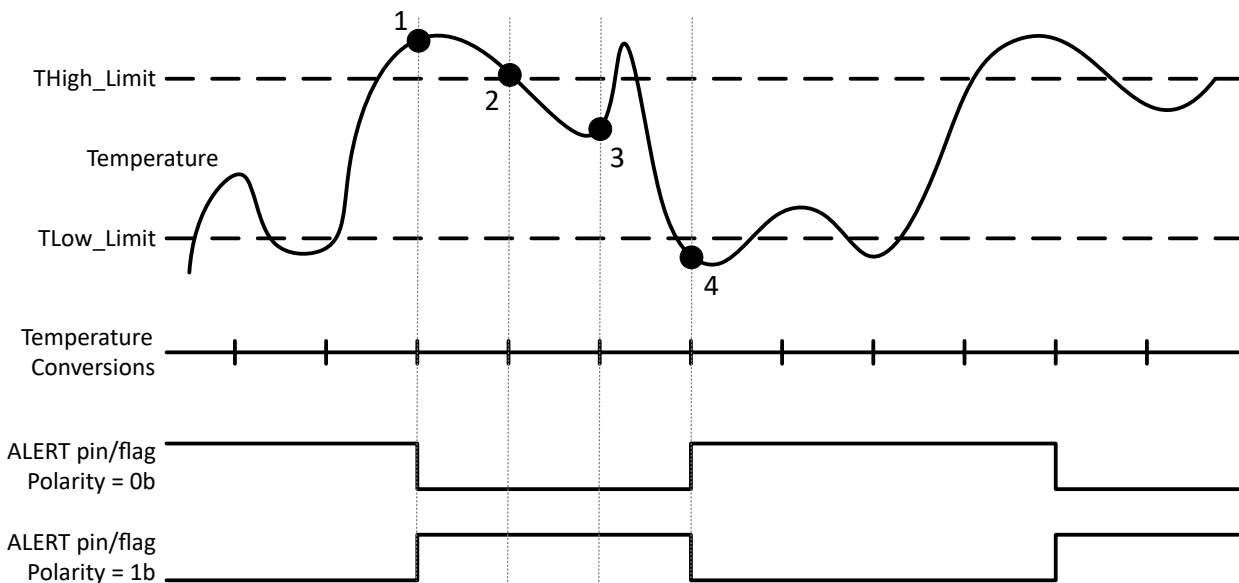


図 2-4. ヒステリシス回復機能による現実的な過熱検出

表 2-1. アラート信号のステージ

ロケーション	アクション
ポイント 1	T_{High} を上回る熱イベントを検出する最初の温度変換
ポイント 2	まだ T_{High} 未満
ポイント 3	T_{Low} ヒステリシスを超えており、アラートがクリアされない
ポイント 4	温度が T_{High} + ヒステリシス未満に下がるとアラートがクリア (T_{Low})

2.4 低温スレッシュヨルド

過熱検出とは対照的に、TI では、低温検出に構成できるデバイスの選択肢を提供しています。これらのデバイスは、周囲温度またはシステム温度が事前定義されたスレッシュヨルドを下回るときを監視します。アラート信号の差は以下のように定義されます:

- トリガ方向: 温度が制限値を下回ると低温検出が有効になり、温度が制限値を上回ると過熱検出が有効になります。
- ヒステリシス動作: 低温検出では、スレッシュヨルドよりも上でヒステリシスが適用されるため、温度がヒステリシス ポイントを超えた後のみアラートがクリアされます。過熱検出では、スレッシュヨルドよりも下でヒステリシスが適用されるため、温度が十分に下がるとアラートがクリアされます。

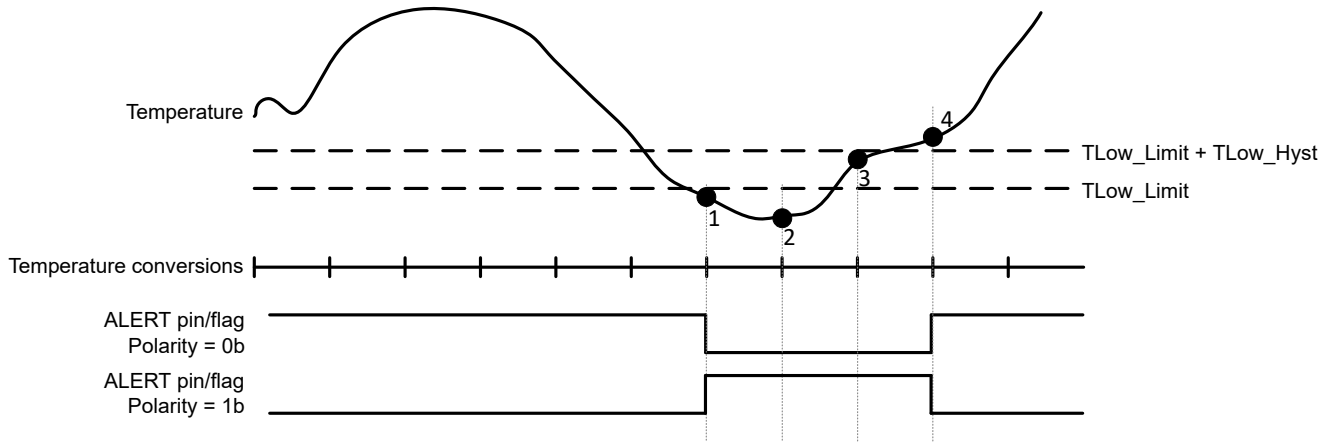


図 2-5. 低温検出

表 2-2. アラート信号のステージ

ロケーション	アクション
ポイント 1	T_{Low} 未満の熱イベントを検出する最初の温度変換
ポイント 2	まだ T_{Low} 未満
ポイント 3	T_{Low} ヒステリシス未満であり、アラートがクリアされない
ポイント 4	温度が $T_{Low} +$ ヒステリシスを超えるとアラートがクリア

2.5 ウィンドウ監視スレッシュヨルド

TI には、2 つの温度制限で過熱と低温両方の検出を収集できる、組み合わせて使用するさまざまなデバイスが用意されています。各制限には、スレッシュヨルド付近のノイズやわずかな温度変動による誤トリガを防止する、関連するヒステリシス値が含まれています。2 つの制限値は高温および低温スレッシュヨルドとして定義されます。温度がヒステリシスの設定値に達するまでアラートは回復しません。

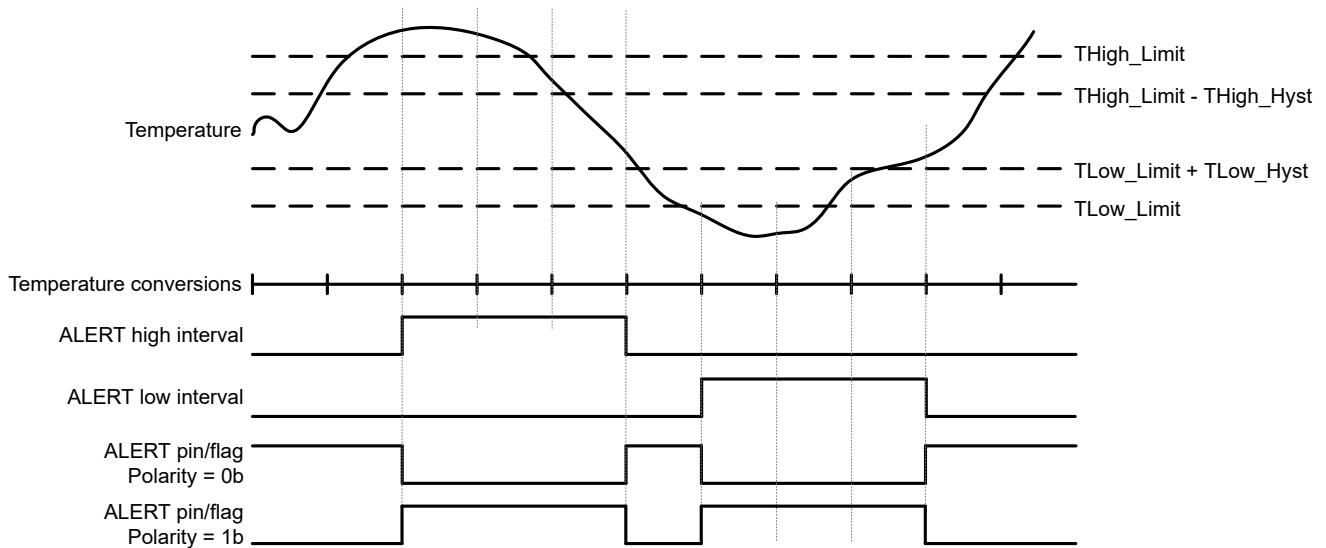


図 2-6. ヒステリシス回復による過熱および低温検出

3 アラート出力の種類

アラートには、過熱、低温、ウィンドウ監視の 3 種類があります。信号を表示する異なる方法がありますが、同じ機能が含まれています。デジタル センサの場合、目的の出力を変更するには I2C レジスタ内で設定を調整する必要があります。以下のような、さまざまな出力オプションがあります：

- 極性
- コンパレータ/割り込みモード
- 故障およびマスキング条件
- プッシュプルおよびオープンドレイン
- デジタル出力

3.1 極性

極性を構成すると、アラート信号をアクティブ Low またはアクティブ High のどちらにするかを選択できます。スイッチング極性では、システムのロジックおよびハードウェア設計との互換性を検証できます。アクティブ Low (デフォルト) では、故障が発生すると ALERT ピンが Low にプルされます。ワイヤード OR 割り込みラインやオープンドレインのシステムでは、短絡したり他のデバイスを損傷したりせずに、複数のデバイスが「割り込み」を送信できる、アクティブ Low が推奨されます。アクティブ High では、故障が発生すると ALERT ピンが High に駆動されます。アクティブ High は、High のとき有効な割り込みを予測するロジックに直接接続する際に便利です。極性はデジタル デバイスで構成可能です。LM57 などの一部のアナログ スイッチには、両方の極性出力があります。

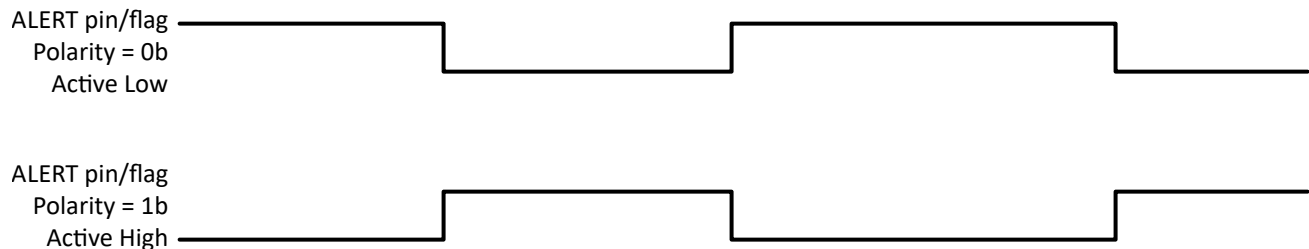


図 3-1. 極性の種類

3.2 コンパレータ/割り込みモード

アラートピンは、コンパレータモードと割り込みモードの 2 つのモードで動作できます。これらは、プログラムされたスレッショルドを温度が超える場合の ALERT 出力の動作方法を定義します。コンパレータ モードでは、ALERT ピンはライブコンパレータ出力のように動作します。コンパレータ モードは、ソフトウェアなしでファンまたはシステムのシャットダウンを駆動できる、スタンドアロン スイッチです。割り込みモードでは、故障が発生すると ALERT ピンがラッチされます。ラッチは通常 I2C の読み取りによりクリアされます。割り込みはマイコンの電力を節約することを目的としており、故障のイベントログが必要な場合に使用できます。

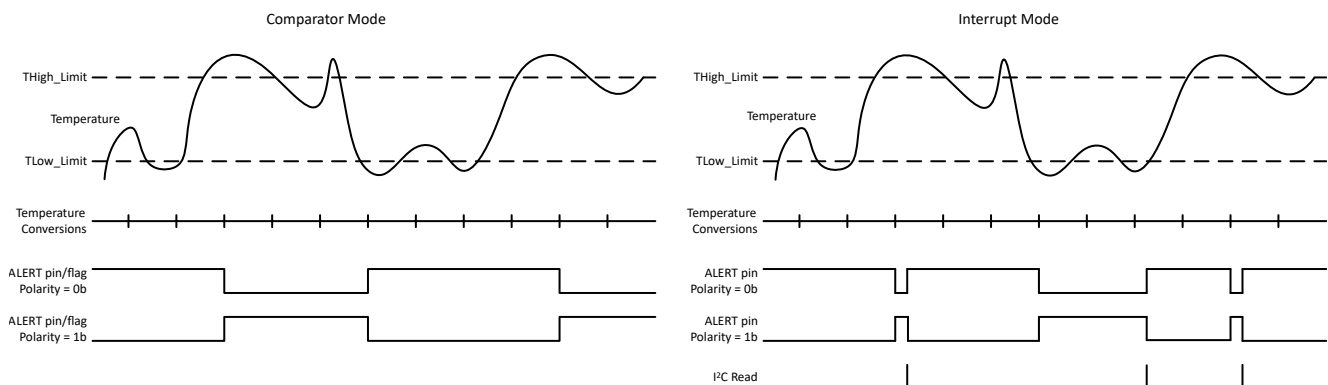


図 3-2. 過熱アラート向けコンパレータと割り込みとの関係

表 3-1. コンパレータと割り込みモードとの関係

イベント	コンパレータ モード 応答	割り込みモード 応答
熱イベント	温度がスレッシュホールドを超えると 1 回トリガ	温度がスレッシュホールドを超えると 1 回トリガ
熱制限内の復帰	温度が安全な範囲に戻ると自動的にクリア	温度が通常状態に戻った場合でもアサートされたまま
アラートリセット	リセットにソフトウェア アクションが不要	アラートを解放するためにマイコン読み取りが必要

3.3 ラッチ機能

割り込みモードと同様に、特定のデバイスにはラッチ機能が搭載され、温度が指定の制限を超えるとアラート出力がアクティブな状態を維持します。通常、マイコンの読み取りが必要なデジタル システムでは割り込みモードが使用されますが、アナログ デバイスではラッチ モードがより一般的です。アラート信号を回復するには、ハード パワーオン リセットまたは指定ピンを Low にプルする必要があります。以下のデバイスはこの機能を搭載しています：

- LM26LV
- LM57

3.4 故障およびマスキング条件

ユーザーが THIGH と TLOW レジスタに定義した限界を測定温度が超えると、故障条件が発生します。故障の追加とは、故障イベントの最初の発生時ではなく、故障イベントが連続して指定回数発生した後にのみアラート条件がトリガされるようにデバイスを構成することを指します。故障条件は I2C レジスタを介してアラート出力に構成できます。一部のデバイスにはアラート信号をマスクアウトするオプションがあります。これを使用すると必然的にアラート出力が非表示になります。一部のデバイスではデフォルトでマスクが有効であり、デバイスで有効にする必要があります。

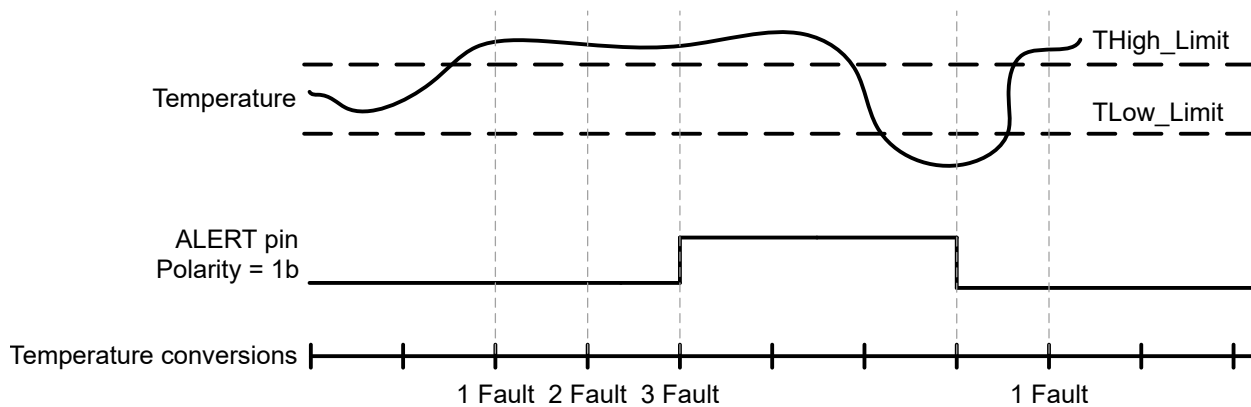


図 3-3. 故障キュー 3 の設定変更出力

3.5 アーキテクチャの種類 (プッシュプルとオープンドレインとの関係)

当社の温度製品ラインで一般的な 2 つの出力構成は、プッシュプルとオープンドレインです。プッシュプル出力では 2 つのゲートを使用して High と Low の両方の信号をアクティブに駆動し、高速スイッチングと強力な信号制御が可能です。一方、オープンドレイン出力では信号を Low にプルするだけで、信号を High にするには外付けプルアップ抵抗が必要です。オープンドレインは、複数のデバイスを安全に接続できる、共有の I2C 通信ラインで便利です。

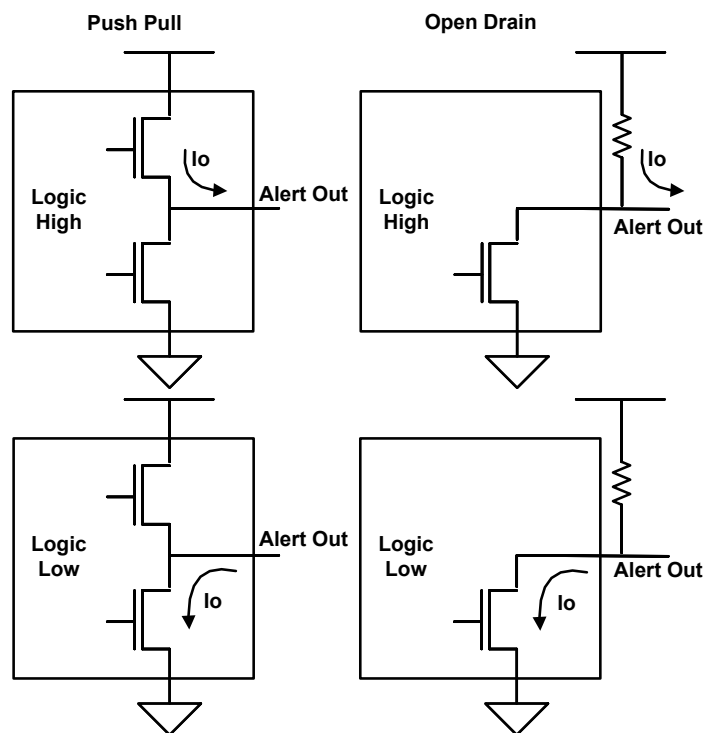


図 3-4. プッシュプルとオープンドレインのアラート出力構成との関係

3.6 デジタル出力

バイナリ出力信号のキャプチャは、アラートピンの使用に代わる方法です。I2C レジスタを使用して、アラートピンのステータスを直接読み取ることができます。アラートピンを使用せずに、小型パッケージに関する検討事項を処理できます。アラートステータスのみを読み取ることのリスクは、以下のとおりです：

- イベントの見逃し: コントローラが十分な頻度でポーリングを行わない場合、短時間の温度違反が発生して読み取り前にクリアされる可能性があります
- バストラフィックの増加: 連続ポーリングにより I2C バスの負荷が増加し、特に複数のデバイスでの性能に影響を及ぼす可能性があります
- プロセッサのオーバーヘッド: ホストマイコンは割り込みに応答せずにポーリングをアクティブに管理せざるを得なくなります

4 スイッチ

アラート出力は、温度スイッチ内、アナログまたはデジタルの温度センサ内まで届きます。アナログまたはデジタルの温度センサは、スイッチのみとして使用するよう構成できます。温度スイッチでは、温度スレッシュホールドを超えたときを検出する、シンプルで信頼性の高い方法を実現できます。温度の選択には、次の主な利点があります：

- 自律動作：ソフトウェアやマイコン入力が必要とせず完全に機能します
- コスト効率の高い統合：温度センサとコンパレータの両方をシングル IC に統合し、システム設計を簡素化して全体的なコストを低減します。

温度スイッチは、温度を監視し、事前定義された制限値に達すると出力をアサートし、警告、シャットダウン、冷却起動などのシステム応答を即座に有効にします。TI には、アラート制限の定義方法に応じた 3 種類のスイッチがあります。デバイスによってはかなりの制限が存在する可能性があるため、希望するアラート制限の選択方法について、データシートを参照してください。

- 抵抗設定：トリップポイントを抵抗で選択可能
- ピンプログラマブル：トリップポイントをピンで選択可能
- 出荷時プリセット：トリップポイントは TI 工場を設定

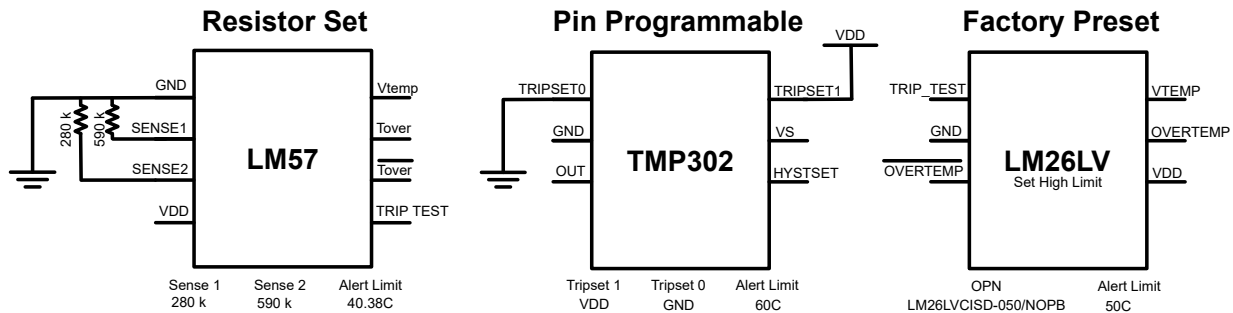


図 4-1. スイッチの種類

アラート出力用の ADC を内蔵しているかどうかに応じて、スイッチをアナログまたはデジタルに分類できます。ADC を内蔵したデジタル デバイスでは、変換の終了時にのみ出力が表示されるため、変換時間の遅延があります。一部のデジタルスイッチには TMP302 と TMP303 が含まれています。

5 温度アラート製品ライン

TI の温度センサには、アラート機能向けの幅広い設計が用意されています。最もシンプルな設計は、アラート出力のみを含むスイッチ製品ラインです。アラート出力を使用する温度測定には、多くの出力タイプがあります。I2C、SPI、アナログ出力を利用できます。デジタル温度センサの場合、アラート信号を有効にするには変換を有効にする必要があります。次の表を使用すると、正しいアラート設定機能を持つ目的のセンサを選択するのに役立ちます。

表 5-1. ベストセラー デバイスの比較

GPN	低温または過熱	アラート アーキテクチャ タイプ	温度出力	電源 (非アクティブ シャ ットダウン 25°C)	アラート プログラマブル
TMP115	低温および過熱	オープンドレイン	デジタル I2C	15nA * 平均 Iq (1Hz デュー ティサイクル時) = 0.4μA	I2C で調整可能な出荷 時プリセット
TMP117	低温および過熱	オープンドレイン	デジタル I2C	0.5μA * 平均 Iq (1Hz デュー ティサイクル時) = 5μA	I2C で調整可能な出荷 時プリセット、パワー サ イクル後に保持
TMP112	過熱	オープンドレイン	デジタル I2C	0.35μA * 平均 Iq (1Hz デュー ティサイクル時) = 7.5μA	I2C で調整可能な出荷 時プリセット
TMP126	低温および過熱	オープンドレイン	デジタル SPI	0.5μA * 平均 Iq (1Hz デュー ティサイクル時) = 1.2μA	I2C で調整可能な出荷 時プリセット
TMP4719	過熱	オープンドレイン	デジタル I2C リモート (2 チャンネル)	1.5μA * 変換時間 1 秒時の平 均 Iq (すべてのチャネ ル) = 11μA	I2C で調整可能な出荷 時プリセット
TMP4718	過熱	オープンドレイン	デジタル I2C リモート (1 チャンネル)	1.5μA * 変換時間 2 秒時の平 均 Iq (すべてのチャネ ル) = 4.5μA	抵抗設定
LM56	低温および過熱	オープンドレイン	アナログ	230μA	抵抗設定
LM57	過熱	オープンドレインおよ びプッシュプル	アナログ	28μA	抵抗設定
LM26LV	過熱	オープンドレインおよ びプッシュプル	アナログ	16μA	出荷時プリセット
LM26	低温および/または過熱	オープンドレイン	スイッチ	20μA	出荷時プリセット
TMP390	低温および/または過熱	オープンドレイン	スイッチ	0.25μA	抵抗設定
TMP303	低温および過熱	プッシュプル	スイッチ	5μA	抵抗設定
TMP302	過熱	オープンドレイン	スイッチ	15μA	ピン プログラマブル
TMP392	過熱	オープンドレイン	スイッチ	0.25μA	抵抗設定

6 まとめ

これらのアラート構成の出力オプションでは、温度アラート条件を検出してホストシステムに通知する方法に柔軟性があります。極性の調整、コンパレータまたは割り込みモードの選択、故障条件とマスク条件の構成により、システムの監視および割り込み処理要件に合わせて **ALERT** 出力をカスタマイズできます。適切に構成することで、過熱、低温、ウィンドウ違反検出の信頼性を検証すると同時に、ノイズまたは過渡条件による誤アラートを最小限に抑えることができます。

7 参考資料

- テキサス インストルメンツ、『[ヒステリシス付きコンパレータリファレンス デザイン](#)』、設計ガイド。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月