

Design Guide: TIDA-010002

白金 RTD センサの代替となるデジタル温度センサのリファレンス
デザイン

説明

このリファレンス デザインは、熱量計および冷却量計の差動温度測定 (DTM) サブシステムとして、薄膜白金測温抵抗体 (RTD) センサに代わる完全デジタル温度センサを実現するものです。デジタル RTD 方式では、内蔵 EEPROM メモリにユーザー定義パラメータを保存できるため、付随するドキュメントを作成、維持する必要がなくなり、製造工程を効率化できます。また、従来の DTM システムでは必要とされたアナログ デジタル変換のオフセットおよびゲイン キャリブレーション手順が不要となり、デジタル RTD はアナログ信号処理を簡素化できます。

機内に組み込まれた静電放電 (ESD) 保護装置は、最大 30kV の接触または空気 ESD 衝撃から保護します。小型の PCB は、標準の PT100、PT500、PT1000 センサでよく使われる外径 5.2-mm の金属シースに適合します。

このデジタル RTD サブシステムは、MSP430™ と SimpleLink™ の各マイコン デバイス ファミリの組み合わせで動作します。

リソース

TIDA-010002	デザイン フォルダ
TMP117	プロダクト フォルダ
ESD351	プロダクト フォルダ
ESD314	プロダクト フォルダ



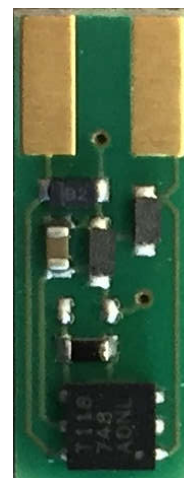
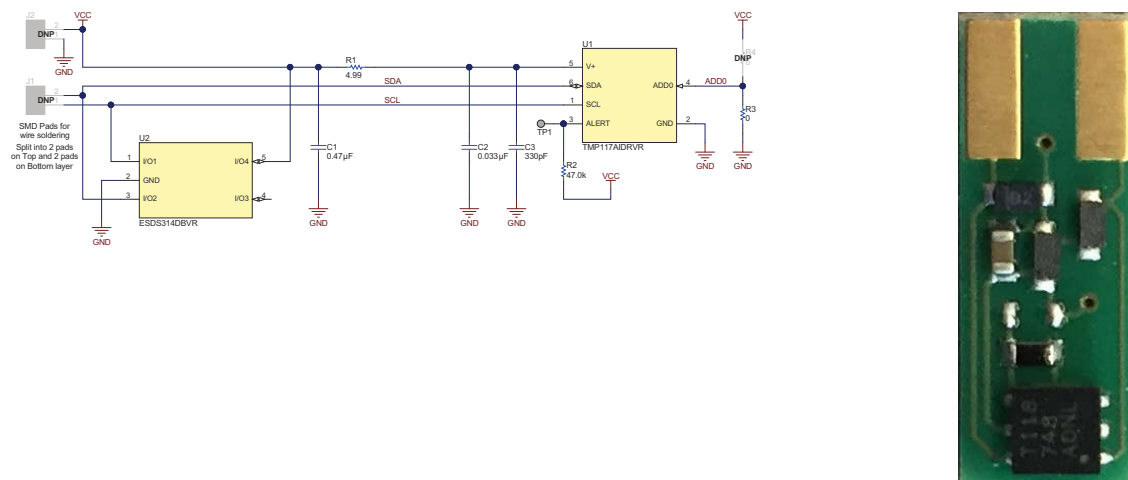
E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください

特長

- 白金測温抵抗体の代替となる、完全デジタル高精度温度センサで、熱量計に使用される標準の 5.2mm シースに適合します
- 2 線式または 4 線式 RTD 構成で使用される高精度リファレンス抵抗、RC 整合フィルタ、電流源、ADCs、およびインピーダンス制御型信号トレースが不要です
- -55°C ~ 150°C の範囲にわたってキャリブレーションなしで IEC/EN 60751-2008 Class A の精度、シングル ポイント キャリブレーションで Class AA の精度を達成します
- ホスト マイクロコントローラへの標準の I2C インターフェイス (I2C バス + VDD + GND による 4 線式デジタルインターフェイス)
- EN1434 に準拠した EFT、CE、RE、CS、RS、および磁界耐性の事前準拠テストに合格しました
- コストを最適化するために、システム設計と製造作業が低減されます

アプリケーション

- PT100、PT500、または PT1000 センサを使用した、 -55°C から 150°C までの [熱量](#)および[冷却量](#)計または[熱計算機](#)
- 多様な産業用アプリケーションで Class A および Class AA の温度計 (RTD) の置き換え



1 システムの説明

熱量計は、多くの国や地域にわたってマルチ住居ユニットの住宅ユーザー向けに熱エネルギーを請求するために一般的に使用されています。それに対し、冷却量計は商業ビル、ストレージ、物流ビルや産業用環境でよく採用されています。熱量計および冷却量計は、どちらも 2014 年 2 月 26 日の欧州議会および理事会の計量器指令 (MID) 2014/32/EU⁽⁴⁾ の附属書 VI で定義されている熱エネルギー メーターです。MID 文書は、EU のすべての加盟国にわたる計量器の共通市場を構築するための加盟国の法律の調和です。冷却量計は MID の対象外であり、通常は各国で規制されています。

熱エネルギー メーターは基本的に通常の流量計 (例えば水道メーター) で、高精度の差動温度測定 (DTM) サブシステムを拡張して、入口と出口の流量間の温度差をキャプチャします。入口の媒体温度フローが出口の温度より低い場合、熱は放散されます。そうでなければ熱が吸収され、これは冷却システムであることを意味します。

したがって、熱量計と冷却量計は非常に似ています。ただし、請求に両方のタイプを使用できるようにするには、各ケースで型式検定証明書が必要です。型式試験証明書の場合、EN 1434 の要件を満たしている必要があります。テキサス インスツルメンツは JUMO GmbH & Co. KG と緊密に協力し、これらの要件を満たし、型式の試験証明書を作成しています。

1.1 主なシステム仕様

IEC/EN60751:2008 規格では、4 つの温度計クラスが定義されています。Class C、B、A、AA と呼ばれて、C は最も低く、AA は最高の精度です。精度クラスが低いほど、定義された温度範囲が大きくなり、薄膜と巻線の 2 種類の温度計が定義されます。Class AA 薄膜温度計は 0°C ~ 150°C までの範囲をカバーし、Class C 薄膜温度計は -50°C ~ 600°C までの範囲をカバーしています。

TIDA-010002 リファレンスデザインは、TMP117 高精度デジタルセンサの優れた温度測定精度を実現し、-55°C ~ 150°C の温度範囲で最高クラスの Class AA 薄膜 RTD センサの精度に適合します。

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
入力電源	ホストマイコンまたはホストマザーボードから供給される場合、固定電圧レベルまたはスイッチド GPIO 経由で供給されます	表 3-1
動作温度	-55°C ~ 150°C	セクション 2.3.2
精度	±0.1°C	セクション 2.3.2
電源電圧	1.8V ~ 5.5V	セクション 3.2.7
デジタル RTD センサ構成	4 線式デジタル インターフェイス (SDA, SCL, VDD, GND)	セクション 2.4.3
平均アクティブ状態消費電流	アクティブ状態の持続時間によって異なります	セクション 2.3.2
アクティブ状態の持続時間	CONFIG レジスタの CONV[2:0] および AVG[1:0] ビットにより構成が可能になります	セクション 2.3.2

表 1-1. 主なシステム仕様 (続き)

パラメータ	仕様	詳細
スタンバイ状態の平均消費電流	3.5- μ A、1-Hz の変換サイクル	セクション 2.3.2
スタンバイ状態の持続時間	約 876ms (1 秒の変換サイクルで 8 回の平均化を行う場合)	セクション 2.3.2
平均シャットダウン状態消費電流	150nA	セクション 2.3.2
1 分あたりの測定値	60 以下、ユーザー設定可能	セクション 3.1.2
ESD 61000-4-2	気中 8kV/接触 4kV (> 8KV 接触または気中放電)	セクション 3.2.8

2 システム概要

熱量計は通常、1 個のリチウム 1 次バッテリー セルから電力を供給されます。周囲温度の条件と、特定の期間内に送信されるワイヤレス通信パケットの数によっては、少なくとも 6 年以上動作する必要があります。このため、製品設計上の重要な考慮事項は、可能な限り低い消費電力です。

熱量計および冷却量計は、DTM サブシステムを使用して、逆方向の 2 つのフローの数秒ごと (または頻度以下) に温度を測定します。これにより、測定サイクルのほとんどで DTM 回路の電源をオフにできます。高精度の温度測定に加えて、パワーダウンモードからすばやくウェークアップし、2 つの RTD の温度を測定し、できるだけ早くパワーダウンモードに戻すことができるため、これらのメーターのエネルギー消費を最小限に抑えることができます。

TMP117 デバイスの特長は、電源投入またはリセット期間がわずか 1.5ms (標準値)、15.5ms の変換測定サイクル、高精度の 0.0078125°C 温度分解能、ファスト モード (400kHz) I2C バス通信インターフェイスです。これらのすべてにより、測定サイクル間の TIDA-010002 の電源オン/オフサイクルが可能になります。

このデジタル RTD ソリューションは、TMP117 デバイス内で測定結果の線形化と温度値への変換を実行するときに、ホストマイコンの処理時間を節約します。

2.1 ブロック図

熱エネルギー (熱および冷却) の請求要件が着実に高まっていることから、EMEA、ロシア、および中国市場で熱量計および冷却量計の普及がますます進んでいます。これらのデバイスの測定サイクルは設定可能であり、通常は数秒に 1 回未満であるため、DTM サブシステム全体の電源がオフになります。このようなアプローチは、すべてのバッテリー動作の製品に加えて、M-Bus 有線センサや 4 ~ 20-mA 産業用センサなど、利用可能な電力が制限されているあらゆるアプリケーションにも非常に有益です。

TIDA-010002 は、熱量計で使用される標準的な直径 5.2-mm の RTD 用金属シースに配置し、4 線式ケーブルで DRTD センサとして実装することができます。次に、図 2-1 の赤で示したように、DRTD は入口と出口の流れに浸されます。

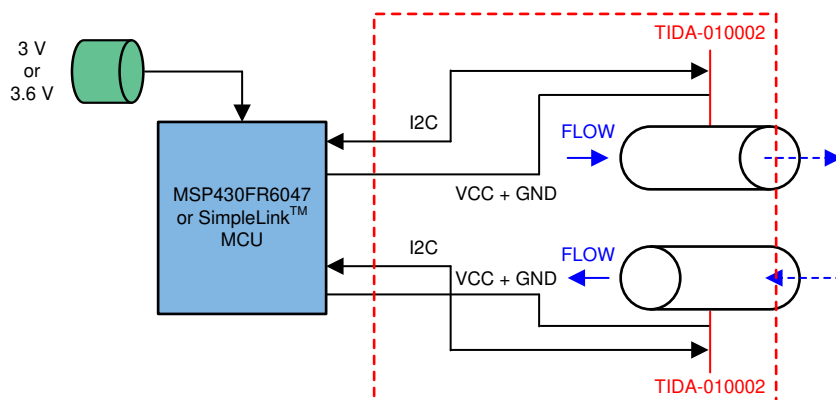


図 2-1. TIDA-010002 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

標準的な熱エネルギーメータでは、TI の ADS1220 ファミリーなどの高精度デルタシグマ ADC に接続された PT100、PT500、PT1000 センサの 1 対を使用するか、マイコンまたはアナログ フロント エンド (AFE) デバイスに接続され、高精度コンパレータとデジタル タイマに基づく ADC 勾配変換手法を利用しています。EU 諸国では、EN1434⁽²⁾ 仕様シリーズでこれらのメータの要件が定義されています。

[熱量計および冷却量計リファレンスデザイン向けの高精度温度測定 \(TIDA-01526\)](#) には、ADS122U04 や ADS122C04 などの 24 ビット、低消費電力のデルタシグマ ADC を使用した差動温度測定 (DTM) サブシステムを実装しています (代わりに、SPI インターフェイス付きの ADS1220 デバイスにも使用できます)。TIDA-01526 は、低コスト、高精度の DTM サブシステムであり、MSP430FR6047 または msP430FR6989、または TI の CC13xx と CC26xx の各ワイヤレスマイコンをベースにした、TI の超音波検出または回転検出流量測定サブシステムと組み合わせることができます。

TIDA-010002 リファレンス デザインでは、デルタシグマ デバイスの完全な信号チェーンと外付け RTD センサを単一のアクティブ高精度温度半導体部品である TMP117 デバイスに統合し、TIDA-01526 に対する代替の DTM システムソリューションを示します。

TIDA-010002 で新しく導入されたデジタル RTD アプローチは、従来の薄膜 RTD センサの代替選択肢となるもので、各 DRTD の内部で独自のキャリブレーション パラメータをプログラムし、ホストマイコンでいつでも読み出すことができるなど、複数の利点を持つものです。

白金 RTD センサに比べて線形性が向上しているため、キャリブレーションやペアリング プロセスの労力を低減できます。

2.3 主な使用製品

2.3.1 推奨デバイス

このリファレンスデザインは、2 つの類似したデジタル温度センサである TMP117 と TMP116 を使用して実装できます。2 つのデバイスは、測定の精度 (TMP117 の場合は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、TMP116 の場合は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) と温度範囲 (TMP117 の場合は -55°C から 150°C 、TMP116 の場合は -55°C から 125°C) が異なります。TMP117 の精度が高いため、TMP117 の使用をお勧めします。この設計では TMP117 を重視しますが、両方のデバイスでデータを取得します。

2.3.2 デジタル温度センサ — TMP117

TMP117 デバイスは EEPROM を搭載した低消費電力、高精度のデジタル温度センサ ファミリーです。TMP117 デバイスは較正不要で、 $0.0078125^{\circ}\text{C}$ の分解能、最大 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の精度で 16 ビットの温度結果を提供します。TMP117 は I2C および SMBUS インターフェイス互換で、プログラム可能なアラート機能を備えて、1 つのバスで最大 4 つのデバイスをサポートできます。

TMP117 デバイスは、消費電流を最小限に抑えるとともに、消費電力を最小化しながら温度を測定し、自己発熱効果を最小化し、測定精度を向上させます。TMP117 は 1.8V から 5.5V で動作し、変換サイクル時の消費電流は $3.5\mu\text{A}$ 、シャットダウン時の消費電流は 150nA (標準値) です。このデバイスは 48 ビット EEPROM も内蔵しています。TMP117 デバイスは全動作温度範囲にわたって、較正なしで Class A RTD と同等の高精度を達成します。また、電圧から温度への測定変換と、その後のオフセットおよびゲイン結果調整の必要性を低下させ、必要な処理ソフトウェアを大幅に削減します。さらに、高精度基準抵抗、アナログ入力マッチング RC フィルタ、PCB 上のインピーダンスマッチングパターンを持つ外部アナログ信号チェーン回路は、完全に除去されます。

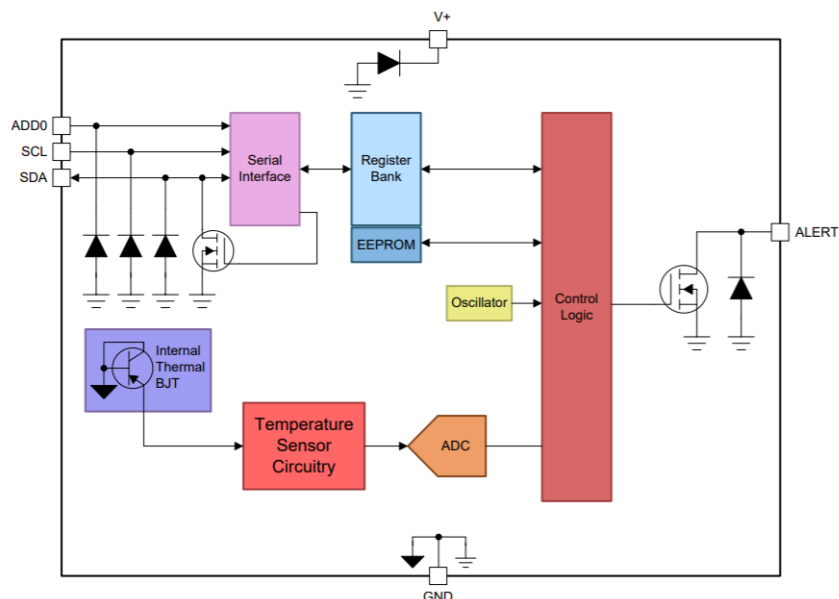


図 2-2. TMP117 の内部ブロック図

2.3.3 デジタル温度センサー TMP116

TMP116 (TMP116, TMP116N) デバイスは、低消費電力、高精度の温度センサファミリで、EEPROM メモリが内蔵されています。TMP116 デバイスは、較正不要で、 $0.0078125^{\circ}\text{C}$ の分解能、最大 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ の精度で 16 ビットの温度結果を提供します。TMP116 は I2C および SMBus インターフェイス互換で、プログラム可能なアラート機能を備えて、1 つのバスで最大 4 つのデバイスをサポートできます。

TMP116 デバイスは、消費電流を最小限に抑えけるとともに、消費電力を最小化しながら温度を測定し、自己発熱効果を最小化し、測定精度を向上させます。TMP116 は $1.9\text{V} \sim 5.5\text{V}$ で動作し、標準的な消費電流は $3.5\mu\text{A}$ です。TMP116 デバイスは全動作温度範囲にわたって、較正なしで Class A RTD と同等の高精度を達成します。また、電圧から温度への測定変換と、その後のオフセットおよびゲイン結果調整の必要性を低下させ、必要な処理ソフトウェアを大幅に削減します。

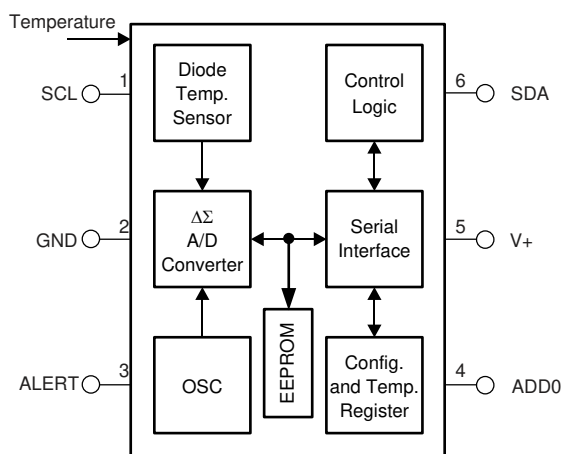


図 2-3. TMP116 の内部ブロック図

TMP116 ユニットは NIST トレース可能な製造時のセットアップで 100% テスト済みであり、ISO/IEC 17025 で認められた標準に従って較正済みの機器により検証されています。

2.3.4 ESD 保護デバイス

ESD351 デバイスは単方向 TVS ESD 保護ダイオードで、低い動的抵抗と低いクランプ電圧が特長です。ESD351 は、IEC 61000-4-2 規格に準拠した 30 kV (接触および気中) レベルまでの ESD 衝撃を吸収する定格を備えています。超低動的抵抗 (0.1 Ω) と非常に低いクランプ電圧 (16A TLP で 6.5V) により、過渡事象に対するシステムレベルの保護が保証されます。このデバイスの容量は 1.8 pF (標準値) で、インターフェースの保護に理想的です。ESD351 は、業界標準の 0402 (DPY) パッケージで供給され、省スペースアプリケーションでの部品配置に便利です。この非常にスペースの制約が厳しいアプリケーションで ESD351 を選択するには、パッケージサイズの小型化が重要な決定要因になっています。



図 2-4. ESD351 の機能ブロック図

ESD351 はダイオード タイプの TVS です。ヒューマン インターフェイス コネクタとシステム間の高速信号ライン上の ESD イベントを消散させるためのグラウンドへのパスを提供するために使用されます。ESD からの電流が TVS を通過するため、ダイオードの両端ではわずかな電圧降下のみが存在し、これが保護対象 IC に印加される電圧となります。

ESD351 デバイスには、産業用温度範囲の製品があります: $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ の場合、推奨入力電圧 V_{IN} は 0 \sim 3.6V です。

TPD1E04U04 デバイスは単方向 TVS ESD 保護ダイオードで、IEC 61000-4-2 国際規格 (レベル 4) で規定されている最大レベルを上回る ESD 衝撃を吸収する定格を備えています。低い動的抵抗および超低クランピング電圧により、センシティブな SoC に対する過渡事象からのシステムレベルの保護を確保します。TPD1E04U04 は、業界標準の 0402 (DPY) および 0201 (DPL) パッケージで供給され、次の産業用温度範囲にも対応しています: $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度で動作します。

2.4 システム設計理論

熱量計仕様 EN1434-2⁽²⁾ の第 4.1 章では、すべての温度ペアは適切に選択された PT センサ エLEMENTで構成されている必要があると記載されています。PT センサを熱量計に組み込む前にキャリブレーションしてペアリングするか、または熱量計 PCB にしっかりと取り付け (はんだ付けなど)、その後キャリブレーションして、これら 2 つの PT センサ間の温度オフセットを最小限に抑えます。

次に、EN1434-2⁽²⁾ には、他のタイプの温度センサを使用できると記載されています。使用すると、熱量計または熱計算装置から分離することはできません。

考慮すべき別の重要な事実は、第 5.4 章の EN60751⁽¹⁾ 要件です。すべての産業用白金抵抗温度計を、3 線または 4 線構成で Class B より高い精度、または Class A または Class AA と同等の精度で製作します。

これらの 2 つの前の文では、熱量計または冷却量計デバイスにしっかりと取り付けた場合に、4 線式インターフェイスを備えたデジタル温度センサ (または DRTD) として TIDA-010002 を使用することを禁止するものではありません。

TIDA-010002 を使用すると、ホスト マイコン は 48 ビット EEPROM 領域に保存されている DRTD センサ キャリブレーション パラメータを I2C バス経由で読み出し、このデータを使用して Class AA 温度計の精度を実現できます。

TIDA-010002 デザインは、TIDA-01526 に記載されている RTD 高精度温度測定サブシステムの代替ソリューションであり、同様の分解能と温度精度を実現しますが、アクティブな半導体デバイスの性質上、 $-55 \sim +150^{\circ}\text{C}$ の範囲のみを対象としています。

2.4.1 PT100、PT500、PT1000 をベースとした熱量計での測定

TIDA-01526 に実装されているように、では 図 2-5 ADS1220 デルタシグマ デバイスは、直列接続された 2 つの 4 線式 PT センサの抵抗を測定し、そのデータを MSP430 ホストマイコンに渡して、抵抗値から温度値に変換します。4 線式インターフェイスはケルビン接続の一部であり、RTD1 と RTD2 の 2 つの外部リードが測定電流 I_{DAC1} を供給し、2 つの内部リードが ADS1220 の AIN0-1 および AIN2-3 アナログ入力に接続されて、RTD1 と RTD2 の間の電圧、およびそれぞれの抵抗値を測定します。

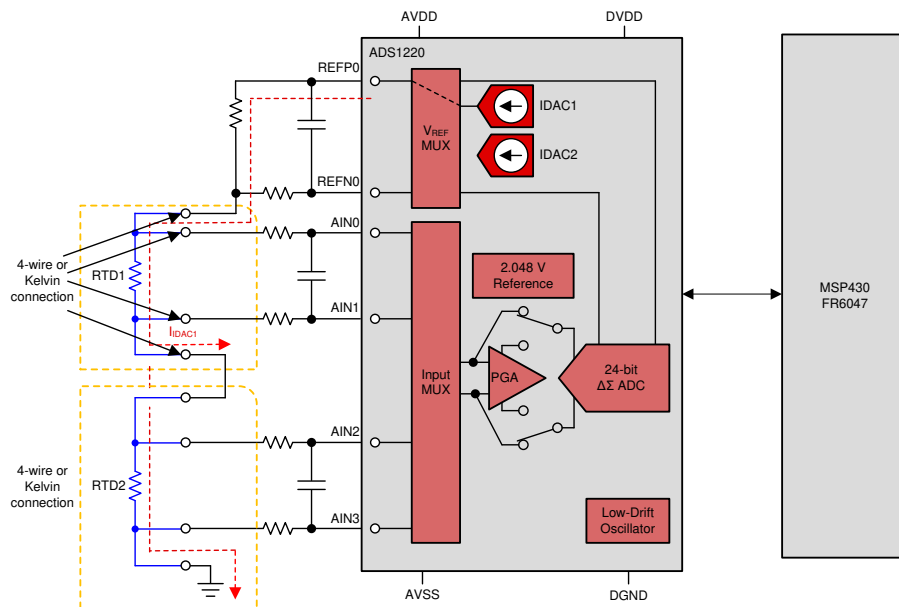


図 2-5. 24 ビット デルタシグマ デバイスと 4 線式 RTD のペアを搭載した DTM サブシステム

2.4.2 TMP117 温度センサとして構成

このセクションでは、TMP117 を使用したデジタル センサの構成について詳しく説明します。主な機能ブロックは、次のとおりです：

- TMP117 デジタル温度センサ
- ESDS314 ESD 保護ダイオード
- EMI 低減を目的とする受動電源フィルタ

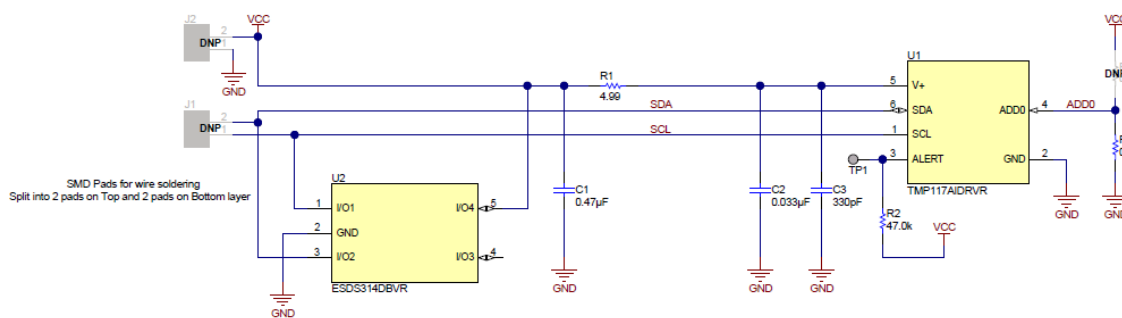


図 2-6. TMP117 ベースのデジタル温度センサの回路構成

ESD 保護ダイオード U2、C1、R1 は、入力コネクタの近くに配置します。EMI および EMC 性能を向上させるため、C2 と C3 は温度センサの近くに配置し、C3 は TMP117 U1 のできるだけ近くに配置します。

2.4.3 TMP117 を使用したデジタル RTD ソリューション

TIDA-010002 は、デルタシグマコアと RTD を組み合わせて高精度デジタル温度センサにすることで、DTM サブシステム全体を 1 つのデバイスに統合しています (図 2-7 を参照)。TIDA-010002 の 4 線式デジタルインターフェイスは、図 2-5 に示すようにケルビン接続を使用して測定した、標準的なアナログ 4 線式 RTD センサと電気的互換性がないことに注意してください。

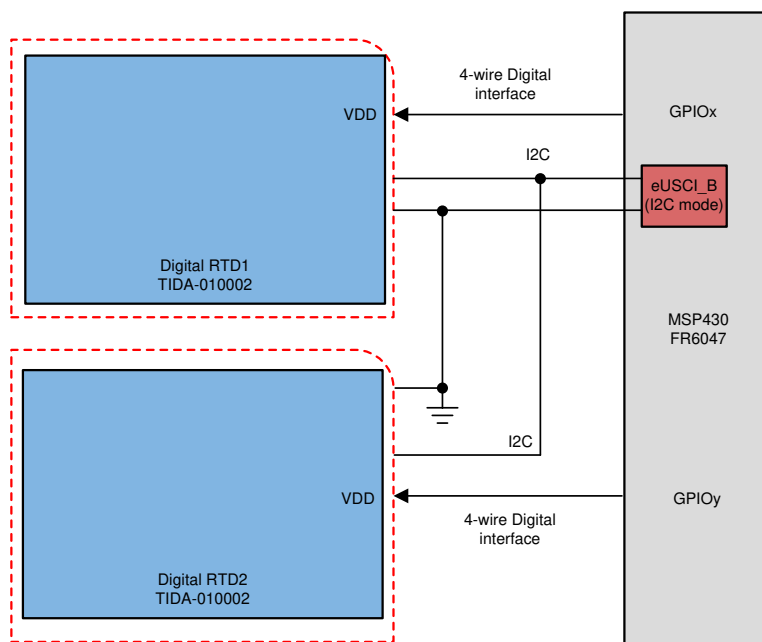


図 2-7. アナログ測定チェーンをデジタル I2C インターフェイス付き半導体温度センサ TMP117 に統合

4 線式デジタルインターフェイスには、図 2-7 の GPIOx など、ホストマイコンの GPIO ピンから供給できる電源電圧 VDD が必要です。2 つ目の DRTD センサの電源オン/オフには GPIOy と呼ばれる追加の GPIO ピンを使用し、2 つ以上の DRTD センサを使用する必要がある場合は、3 番目の GPIO と 4 番目のピンを追加することもできます。専用 GPIO ピンを使用して接続されている各 DRTD に電力を供給すると、利点があります。つまり、これらすべてを同じ I2C バスで使用でき、依然として同じ I2C アドレスを持つことができます。ユーザーは、ホストマイコンの GPIO ピンを 1 つのみアクティブ (または HIGH) にし、同じ I2C アドレスを持つ同じ I2C バスラインのすべての GPIO ピンが非アクティブ (または LOW) になっていることを確認する必要があります。

TMP117 には、サーマル BJT と 16 ビットデルタシグマコアを使用して完全な温度測定サブシステムが完全なデジタルソリューションに統合されているため、ホストマイコンで余分な温度変換作業を行う必要はありません。後者は値を読み出し、TMP117 デバイスの NV メモリのパラメータに基づいて、必要に応じてオフセットを適用します。温度を測定するたびに、NV メモリの内容を最初に一度読み取って、オフセットまたはその他の調整を結果に適用する方がエネルギー効率が高くなります。キャリブレーション オフセット データは、DRTD 製造プロセスの一環として、またはエンド システムのキャリブレーション中に NV メモリに保存されます。

ここで紹介された DRTD アプローチの重要な利点は、2 線式、3 線式、4 線式構成で従来型のアナログ信号測定を行う場合に必要とされる、アナログシグナルチェーンのオフセットとゲイン較正手順を除去できることです。

高精度基準抵抗は、通常 0.1% および ± 25 ppm/°C より良好な精度で、マッチングされた RC フィルタは不要になります。これは、部品表のコスト削減、PCB 面積の節減、ホストマイコン側のレイアウトの大幅な簡略化を意味します。

最後になりましたが、 -55°C ~ 150°C の範囲で高精度温度測定を行うすべての熱量計および冷却量計において、TIDA-010002 では EN 1434 のように 3 つの温度ポイントキャリブレーションをシングルポイントの温度オフセットキャリブレーションに減らすことで、製造コストを大幅に削減できます。

TIDA-010002 をベースとする DRTD アプローチの主な利点は、ユーザー定義のキャリブレーションパラメータを TMP117 デバイスの EEPROM メモリ領域に保存できることです。これにより、従来のアナログ RTD センサと比較して、書類やキャリブレーションデータ処理の手間を大幅に簡素化し、完全に不要にできます。後者の場合は、ID 番号のラベル

を RTD ケーブルに取り付ける必要があります。キャリブレーション データは、RTD センサ ベンダーによって、たとえば電子データ形式などのオフラインの手段によってメーター ベンダーに渡されます。

Class AA の精度を達成するには、0°C または室温での 1 点のオフセットキャリブレーションが必要になる場合があります。このキャリブレーションステップにより、TMP117 デバイスの 3 シグマ精度の拡散を、[TMP117 SMBus および I2C 互換インターフェイスを搭載した高精度、低消費電力デジタル温度センサ](#)に示す平均曲線にまで絞り込みます。

2.4.4 周囲温度に関する考慮事項

TIDA-010002 は、熱および冷却メーターで一般的に採用されている標準的なアナログ RTD センサの代替として提案されています。このセンサは薄膜の受動部品を使用しています。このデザインは、高い周囲温度で動作し、製品寿命全体にわたって「高温」から「低温」へ、またはその逆へと複数のサイクルが変化することが想定されています。TMP117 のデータシートには、長期的な安定性とドリフトは 150°C で 300 時間テストされ、通常 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ の範囲内であると規定されていることに注意してください。

さらに、TMP117 のデータシートには、8 回の平均で ± 1 LSB の温度サイクルとヒステリシス精度が規定されています。ヒステリシスは、温度が室温 → 高温 → 室温 → 低温 → 室温と変化するときに、温度の読み取り値を再現できる能力と定義されます。このテストで使用される温度は、データシートに示される -40°C 、 25°C 、 125°C です。

TMP117 デバイスの産業用温度範囲を最大限に活用するには、電源電圧コンデンサ C1、オプションの VDD フィルタ抵抗 (TIDA-010002 には存在しません)、I2C アドレス構成に使用されるすべての抵抗 ([セクション 4.1](#) に R3 および R4 を参照) も、 -55°C から 150°C までの広い温度範囲と、使用する PCB 材料に対応しています。

固定 I2C スレーブアドレスを使用する量産向けには、TIDA-010002 リファレンスデザインを変更し、ADD0 ピンを GND、VDD、SDA、SCL ラインにハードワイヤ接続できます。このように R3 と R4 は削除されることで、さらなるコスト削減とシステムの信頼性向上を実現します。

クラス AA およびクラス A 抵抗温度計は、それぞれ $0^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ および $-30^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ の温度範囲内で EN 60751:2008 で定義されています。TIDA-010002 では、最低 -55°C までの推奨自由気流動作温度があり、Class A および AA の最低温度制限を超えています。

最大動作温度は、このリファレンスデザインで使用されている TMP117 を使用した 150°C であり、メータリングに加えてさまざまな産業用アプリケーションに適しています。


3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

3.1 必要なハードウェアとソフトウェア

TIDA-010002 の性能を評価するには、既存および入手可能な TI のハードウェア ツールとソフトウェア ツールを組み合わせる必要があります。

3.1.1 ハードウェア

TIDA-010002 ボードは最初に、I2C バス プロトコル対応の [USB2ANY インターフェイス アダプタ](#)を使用して適切に動作することをテストしました。TIDA-010002 デザインと USB2ANY ツールの間で VDD、GND、SDA、SCL の各ラインを正しく配線した後で、TMP117 に対する読み取りおよび書き込みスレーブアクセスの両方を検証しました。

 **図 3-1** に示すように、TIDA-010002 を内蔵した完全に組み立てられたプローブをテストに使用しました。これらのデジタル温度プローブ (長さ 6 m の 4 線式白色ケーブルなどを参照) は、ドイツの JUMO GmbH & Co. KG が製造したものです。JUMO は、住宅用および商業用熱量計/冷却量計を含むさまざまなアプリケーション向けの産業用温度プローブの開発で市場リーダーです。JUMO では、TIDA-010002 をベースとしたデジタル温度プローブに関するお問い合わせ HeatMeter@jumo.net にご連絡ください。

次に、ブースタ パック™プラグイン モジュールの拡張コネクタ J5 と J6 を使用して、TIDA-010002 ベースの完全なデジタル プローブを [MSP430FR6047 超音波センシング評価基板](#)に取り付けました。**表 3-1** に、必要な 4 つの接続を示します。ここでは、デジタル温度センサの VDD を連続的に、または GPIO ピンを使って電源オンとオフを簡単に行うことができます。

表 3-1. MSP430FR6047EVM および TIDA-010002 の配線スキーム

MSP430FR6047EVM	TIDA-010002	備考
SCL (J5.17)	SCL	eUSCI_B0 からの I2C
SDA (J5.19)	SDA	eUSCI_B0 からの I2C
GND (J6.2)	GND	
GPIO P8.0 (J6.18)	VDD オン/オフ	最初の DRTD の電源サイクルに使用されます
GPIO P7.5 (J6.20)	VDD オン/オフ	2 番目の DRTD の電源サイクルに使用されます
VDD (J5.1)	VDD	GPIO8.0 の代替品、DRTD の連続電力供給に使用されます

3.1.2 TMP116 用インターフェイス テスト ソフトウェア

注: 同じセットアップと手順に従って、テスト用に TMP117 センサと接続できます。TMP116 と TMP117 もレジスター互換性があります。

TIDA-010002 は、スマート水道や熱量計などの超音波センシングアプリケーション向けに MSP430FR6047 の性能を評価するためのリファレンス開発プラットフォームである [EVM430-FR6047](#) と組み合わせてテストされています。

MSP430FR6047 マイコンの高精度な流量測定と Class AA センサの温度精度を組み合わせることで、コスト最適化された超低消費電力のハードウェア プラットフォームを実現でき、熱量計および冷却量計または熱カリキュレータを設計できます。

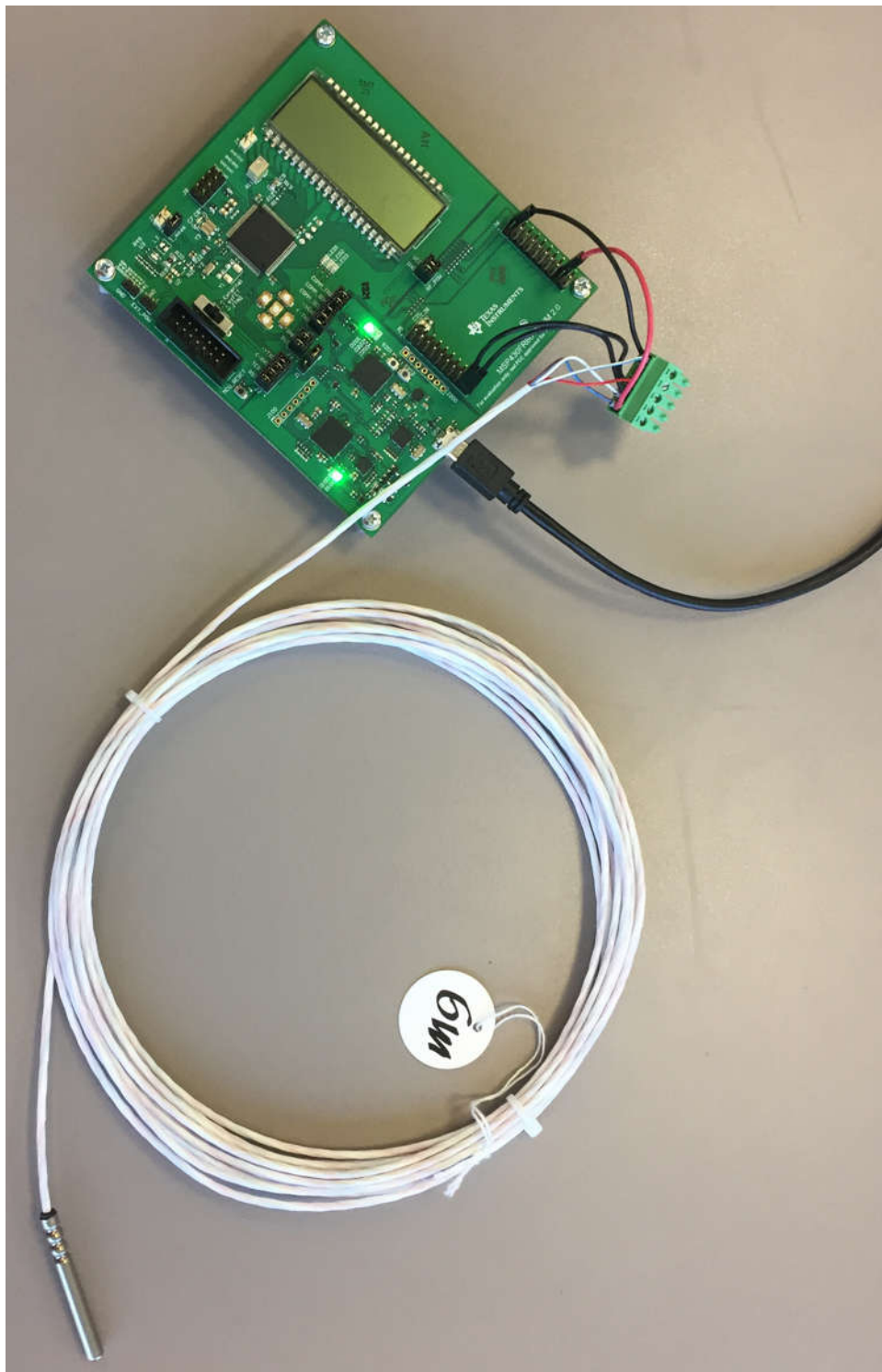


図 3-1. 6m DRTD を搭載した EVM430-FR6047 (TIDA-010002 は金属本体内の密閉)

MSP430FR6047 アプリケーション ソフトウェアは超音波センシング (USS) デザイン センターと呼ばれます。ソフトウェアをダウンロードするには [MSP430 マイコン超音波センシングデザインセンター](#) にアクセスしてください。MSP-USSSWLIB 無償ソフトウェアは、TIDA-010002 デザインで提供されるサンプル コード用のベースになります。MSP-USSSWLIB には、USSSWLib、USS デザイン センター GUI、デモアプリケーションの 3 つの部分があります。2018 年 8 月時点で、TI.com の最新リビジョンは「[UltrasonicWaterFR6047_02_10_00_05_windows_installer.exe](#)」で、ここで使用されている「MSP430FR6047EVM_USS_Water_Demo」Code Composer Studio プロジェクトが含まれています。

「hal_system.c」ファイルを変更し、MSP430FR6047 の eUSCI_B0 を TIDA-010002 のスレーブ用 I2C マスタとして有効にしました。「Water_Demo」ソフトウェアプロジェクトの「main.c」ファイルが変更されました。TMP116 EEPROM 書き込み機能を含め、TMP116 デバイスに対する読み取りおよび書き込みの両方のアクセスが実装されています。

MSP430FR6047 の USCI_A1 モジュールは、PC との通信インターフェイスとして動作するように設定されています (評価基板に統合されている MSP430 デバッガのバック チャネル UART を使用)。UART 設定は 57600、8N1 で、Code Composer Studio CCSv8.1.0 内でターミナル ウィンドウを開くことにより、出力されるデータを監視できます。代わりに、ユーザーは好みの UART ターミナル プログラムを実行することもできます。

TMP116 との通信用の I2C ドライバは、msp430fr6047 評価基板用の既存のハードウェア抽象化レイヤ (HAL) ドライバを活用して開発されました。TIDA-010002 の I2C アドレスはハードワイヤ接続された 0x48 ヘキサで、R3 が TIDA-010002 PCB に取り付けられています (図 3-1 を参照)。

完全に変更されたデモアプリケーションソフトウェアは、[セクション 5](#) のオープンソースの例として、BSD Clause 3 ライセンスの下で利用できます。このコード プロジェクトを CCSv8.3 以降で使用すると、実際の温度読み取り値が「ターミナル」ウィンドウに表示されます。これは、[図 3-2](#) の左下に表示されます。ターミナルの数字フォーマットは、小数点の前の 2 桁と後の 4 桁です。したがって、COM12 ターミナル ウィンドウの最初のデータである文字列「251328」は、+25.1328°C を意味します。

0°C 未満の温度変換はテキストコードには実装されていないため、ユーザーが追加する必要があります。

このコード例では、TMP116 のデフォルト設定として 8 サンプル平均化を使用し、サイクルは 1 秒を使用して、システム全体の動作を示します。ユーザーは、自分の特定のアプリケーションに合わせて TMP116 の設定を調整する必要があります。

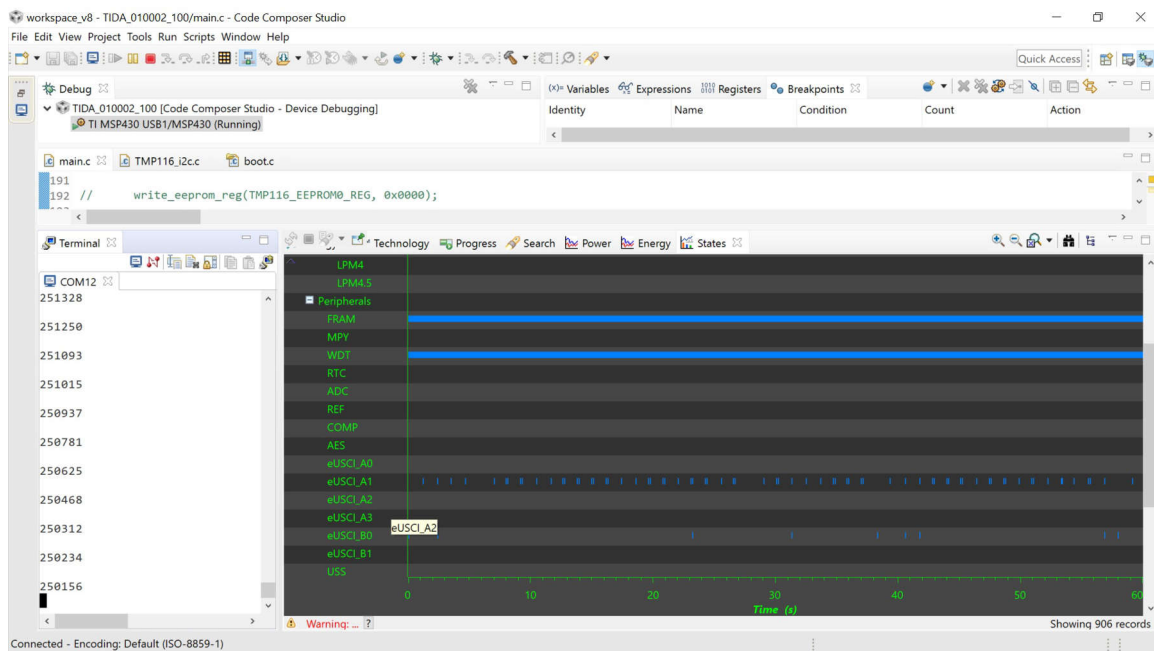


図 3-2. COM12 と EnergyTrace++ のターミナル出力を使用した TIDA-010002 コード例

右下の EnergyTrace++ [図 3-2](#) ウィンドウに、MSP430 ペリフェラルのアクティビティを示します — eUSCI_A1 と eUSCI_B0 のラインの垂直青色のストライプを参照してください。

3.2 テストと結果

温度測定精度をテストするために、TMP117 を使用した 1.5 メーターのデジタルプローブが JUMO によって設計および組み立てられました 11。

3.2.1 性能テストのテスト設定

TMP117 高精度デジタル温度センサ評価基板は、DRTD を接続し、すべての測定データをキャプチャするために使用されました。すべてのテストは 3.3V で実施しました。

DRTD センサは、温度オフセットの精度と応答時間を測定するために、制御された温度を持つ攪拌したオイルバス内に DUT (Device Under Test) として配置されています。

また、これらのセンサは、静止空气中応答時間のテストも実施し、TMP デバイスを搭載した他の TI のボードと比較しました。この章に記載されているテストでは、精密測定機器のいくつかの項目が使用されました：

- オイルバスフルーク 7320 または 7340 (Galden HT200 フルード付き)
- 最大 $\pm 0.006^{\circ}\text{C}$ の精度を達成する Fluke 1502A メーター
- 0°C で $\pm 0.006^{\circ}\text{C}$ の校正精度を持つ 2 次標準 PRT プローブ Fluke 5628

3.2.2 DRTD の EMI および EMC テスト要件

TMP117 は、EN-1434 規格に基づいて定義されたテスト条件で、IEC 定義の電磁適合性規格を使用して、EMI/EMC を包括的にテストされています。試験の詳細と規格を以下にまとめます。

- EN 61000-4-2 (ESD): 空気 8kV/接触 4kV、シングル放電、10 回/放電点
- EN 61000-4-3 (HF フィールド、ケーブル > 1.2m): 26-1000Mhz、3V/m または 10V/m (Class C)、AM (1kHz) 80%
- EN 61000-4-4 (信号および DC ラインの高速バースト > 1.2m): 1.0kV $\pm 10\%$ 、5ns の立ち上がり時間、ピーク時間 50ns、5kHz 時、バースト長 15ms、バースト期間 300ms、過渡ジェネレータで 50 Ω の出力インピーダンス、それぞれ正負のバーストについて 60s
- EN 61000-4-5 (10m を超えるすべてのケーブル接続用): 0.5 kV、1.2/50 μs 、8/20 μs
- EN 61000-4-6 (AM 変調 HF): 0.15 ~ 26Mhz、3V (Class C の場合は 10V) AM (1kHz) 80%
- EN 61000-4-8 (EM フィールド) は 60A/m (Class A および B) および 100 A/m (Class C) をテストする必要があります
- EN55022 に準拠した RF 放射 (伝導型および放射型)

3.2.3 TMP117 EMI/EMC テスト結果

TMP117 は、上記にまとめた規格に従った要件を使用してテストされています。次の表 3-2 に、テストの結果を示します。ご覧のように TMP117 は列挙されているすべての規格に合格しています。このデザインでは、IEC61000-4-3 に従ってテストを実行したときに得られたセットアップとその後の結果を示しています。

表 3-2. TMP117 EMI/EMC テスト結果

テスト番号	標準	環境クラス	サンプル数	結果
1	EN 61000-4-2 静電気放電、接触	A、C	2	合格
	EN 61000-4-2 静電気放電、空気	A、C	2	合格
2	EN 61000-4-3 電磁界	A	2	合格
	EN 61000-4-3 電磁界	C	2	合格
	EN 61000-4-3 特にデジタル無線装置によって引き起こされる電磁界	A	2	合格
	EN 61000-4-3 特にデジタル無線装置によって引き起こされる電磁界	C	2	合格
3	EN 61000-4-4 高速過渡 (バースト)	A、C	2	合格
4	EN 61000-4-5	A、C	1	合格
5	EN 61000-4-6	A	2	合格
	EN 61000-4-6	C	2	合格

表 3-2. TMP117 EMI/EMC テスト結果 (続き)

テスト番号	標準	環境クラス	サンプル数	結果
6	EN 61000-4-8	A	2	合格
	EN 61000-4-8	C	2	合格
7	EN 55022 の信号および電力 DC ラインでの伝導エミッション	A、C	2	合格
8	EN 55022	A、C	2	合格

EN 61000-4-3 規格は、電磁放射に対するデバイスの耐性を決定するために使用されます。4 つの異なる試験が完了し、そのうち 2 つはデジタル無線装置によって引き起こされる電磁界を扱いました。表 3-3 と表 3-4 に、この規格のテスト要件を示します。

表 3-3. 電磁界のテスト要求事項

環境クラス	A	B	C
周波数範囲	26MHz~1000MHz		
テストレベル	3V/m	3V/m	10V/m
変調	AM (1Khz) 80%		

表 3-4. デジタル RF による電磁界のテスト要件

環境クラス	A	B	C
周波数範囲	800MHz~960MHz 1850MHz~2700MHz		
テストレベル	10V/m	10V/m	30V/m
変調	AM (1kHz) 80%		

図 3-4 に物理的なテスト構成を示し、図 3-3 に回路図を示します。TMP117 は、デジタルアイソレータとシールド付き銅ケーブルを使用して絶縁型 I2C を使用し、EN-1434 に記載されている周波数についてテストしました。停留時間は 30 秒

で、周波数ステップは 1MHz でした。通信エラーや温度測定の急激な変化は観測されませんでした。磁場除去後の温度測定の急激な変化は観測されませんでした。

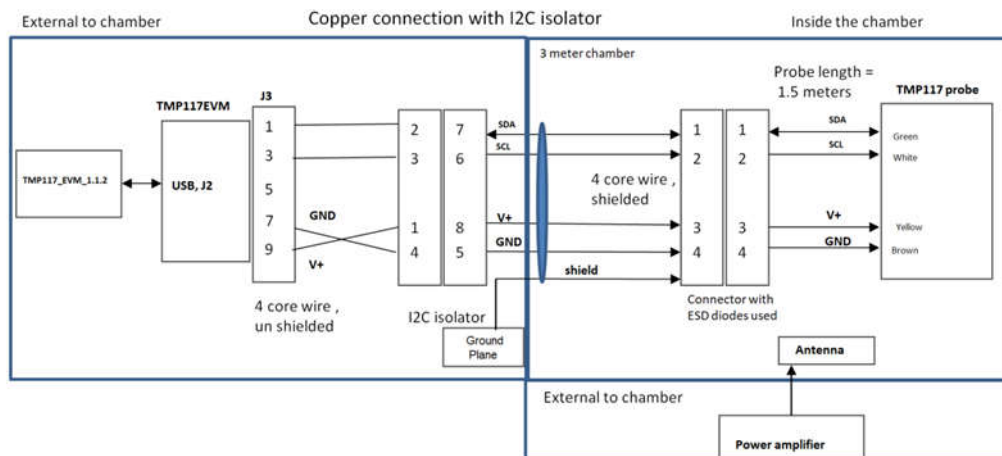


図 3-3. EN 61000-4-3 テスト構成図

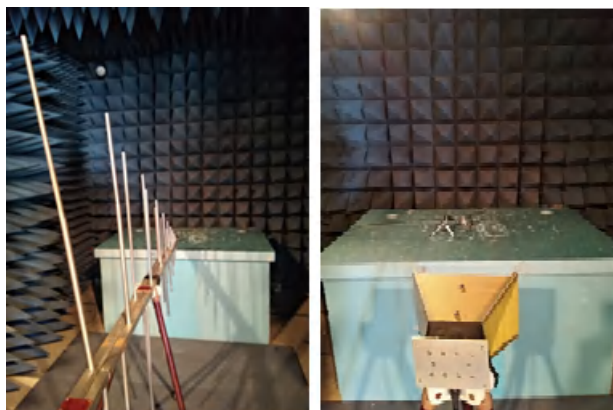


図 3-4. EN 61000-4-3 チャンバー内のセットアップ

3.2.4 TMP117 ベースの温度プローブ測定性能テスト結果

以下の異なるテスト条件について、TMP117 と TMP116 の両方のデバイスを使用して、DRTD でデータを取得します。精度が高いため、TMP117 が推奨デバイスです。ただし、両方の温度センサはアプリケーションに適しているため、両方

のデータが示されています。このセクションでは、正確な結果を保証するため、3つの異なる TMP117 プロブでデータを取得しました。TMP116 プロブの結果については、[セクション 3.2.5](#) を参照してください。

DRTD プロブを Galden HT200 オイルで精密フルーク油槽に浸し、各温度点について 10 値を読み取りました。測定された範囲は -20°C ~ 130°C (5°C 刻み) です。各温度測定ポイントについて、これら 10 個の各ステップからのワースト (最大) 偏差を、[図 3-5](#) に示します。

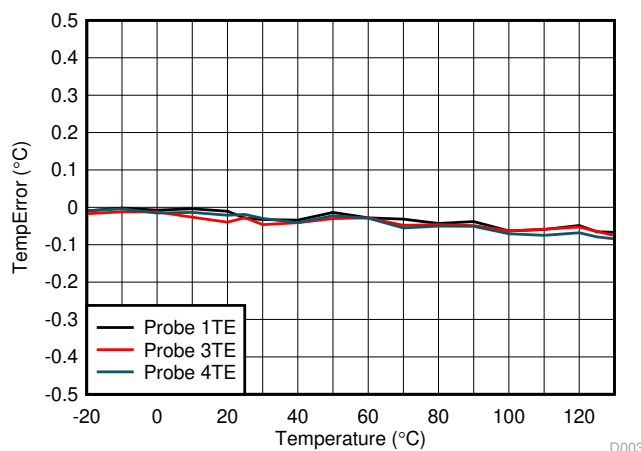


図 3-5. TMP117 DRTD -20°C ~ 130°C への温度エラードリフト

TI の DRTD は Class AA の精度を達成しています。

この TIDA-010002 DRTD ユニットでキャリブレーションなしで実現される Class AA 精度は、デフォルトですべての TMP117 デバイスについて保証されるわけではありません。デバイスの平均 $\pm 3\sigma$ のばらつき ([TMP117x 高精度、低消費電力、SMBus および I2C 互換インターフェイス搭載デジタル温度センサ データシート](#) を参照) の関係で、温度オフセットを最小限に抑えるには、例えば氷水を使用した 0°C または室温でのシングルポイントキャリブレーションが必要です。[図 3-5](#) は、TIDA-010002 を内蔵した DRTD プロブが、キャリブレーションなしで温度オフセットの Class AA 制限を満たすことができることを示しています。これは、特定のデバイスがデータシートに示す平均曲線に近い値で動作していることを想定しています。

EN60751:2008 では、すべての RTD は -5°C と 30°C の間の 1 つの温度ポイント (できれば 0°C) でチェックする必要があります。TIDA-010002 を使用する Class A および Class AA 温度計では、最初の温度ポイントより 90°C 高い温度で 2 回目のチェックが必要です。例えば、 0°C と 90°C 、または 3°C と 93°C などです。

標準 RTD では温度センサの応答時間が重要なパラメータであるため、比較のために攪拌油中と静止空気中で TIDA-010002 の性能を測定しました。攪拌オイルの結果は、[熱量計](#) および [冷却量計](#) の場合と同様に、DRTD が流体と

直接接触するアプリケーションに関連します。図 3-6 では、TMP117 DUT の平均初期温度は 22°C で、70°C の高温オイルバスに挿入され、DUT が報告する温度が記録されています。

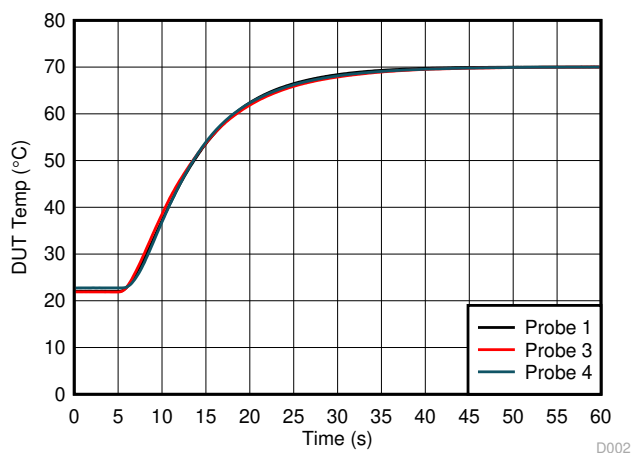


図 3-6. TMP117 DRTD 攪拌オイルバスでの応答時間

3 つの TMP117 プロブの結果はほぼ同じです。プロブが 70°C の油温に達するまでに約 55 秒かかります。3 つの DRTD プロブの静止空気応答時間を図 3-7 に示します。

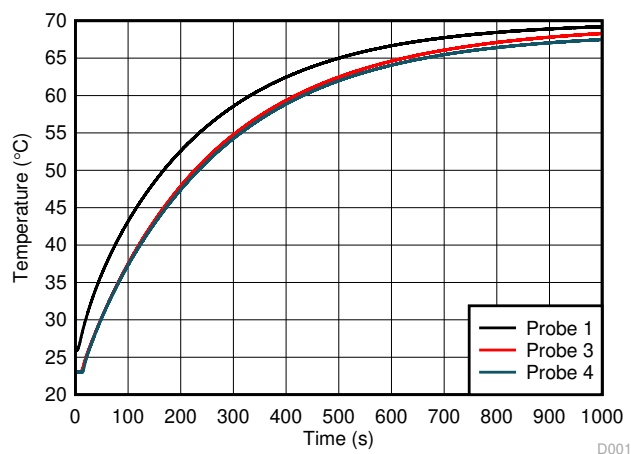


図 3-7. TMP117 DRTD 静止空気中での応答時間

3.2.5 TMP116 ベースの温度プローブ測定性能テスト結果

TMP117 プロブと同様に、TMP116 DRTD プロブを Galden HT200 オイルを使用した高精度 Fluke オイルバスに浸しました。温度オフセットグラフを図 3-8 に示します。

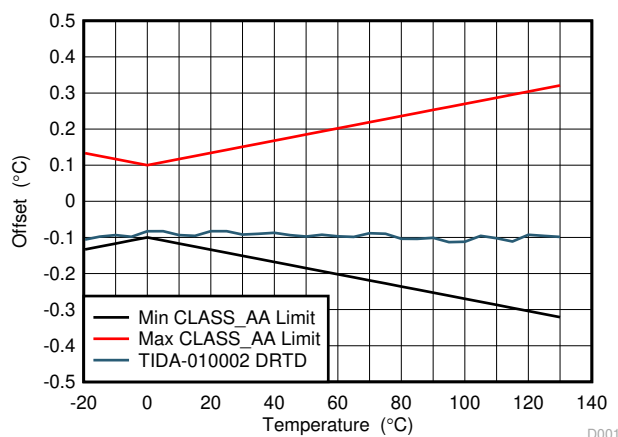


図 3-8. TMP116 DRTD -20 ~ 130C 温度。エラードリフト

この TIDA-010002 DRTD ユニットでキャリブレーションなしで達成される Class AA 精度は、デフォルトですべての TMP116 デバイスで保証されているわけではないことに注意してください。TMP117 と TMP116 を使用する DTRD プロブはどちらも Class AA 精度を達成しており、2 つのプロブ間のオフセット値は予想どおり非常に類似しています。

セクション 3.2.4 と同様に、攪拌油と静止空気の間で応答時間を測定しました。図 3-9 で、DUT の初期温度は 20.5°C で、70°C の高温オイルバスに挿入され、DUT が報告する温度が記録されています。TMP117 プロブと TMP116 プロブのオイルバスでの応答時間は非常に類似しており、プロブが 70°C の油温に達するまでに約 55 秒かかります。

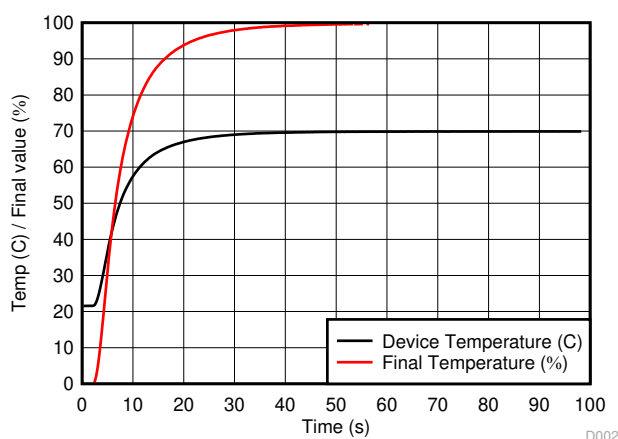


図 3-9. TMP116 DRTD 攪拌オイルバスでの応答時間

DUT1 および DUT2 と名付けられた 2 つの DRTD プロブの静止空気応答時間を図 3-10 に示し、TMP116 サーマルパッドをはんだ付けした場合としていない場合の他の TI テストボードとも比較しています。明らかに、金属シースを使用し、熱質量がはるかに大きい DRTD プロブは応答時間が長くなりますが、約 400 秒の遅延後には TMP116 を搭載したベア PCB と同等になります。TP はサーマルパッド付きとサーマルパッドなしでの性能を比較するため、テスト実施済みです (詳細については、[TMP116 を使用した高精度温度測定](#)を参照)。

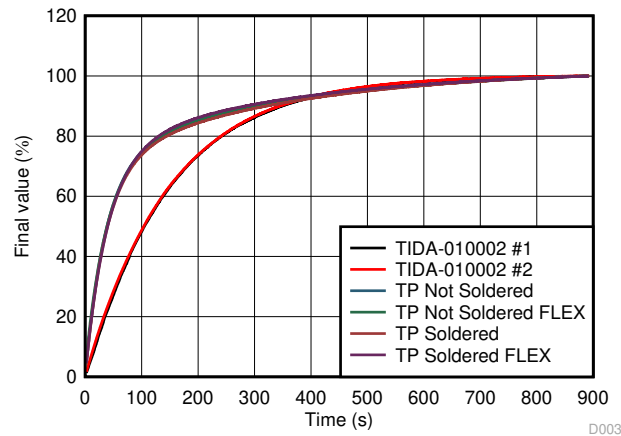


図 3-10. TMP116 DRTD 静止空気中での応答時間

3.2.6 I2C バス ケーブル長に関する考慮事項

I2C バス動作の 4 線式デジタル インターフェイスは、2、4、6、8、10m のケーブル長の複数の DRTD プロブで検証されています。SCL ライン用の外部 4.7k Ω プルアップ抵抗が使用されています。

I2C バス仕様では、可能なケーブル長を制限する最大バス容量が定義されていることに注意してください。達成される距離 (10m は入手可能な最大ケーブル長の DRTD プロブでした) は、使用する 4 線式ケーブルのパラメータと、I2C マスタ デバイス (ここでは MSP430FR6047 マイコン) の駆動能力に依存します。6m、8m、10m のケーブル長で取得したデータ転送の複数のオシロスコープ プロットは、ケーブル距離が長くなると信号の立ち上がり/立ち下がり時間が長くなり、各線の総容量がケーブル長のために I2C バスの上限である 400-pF を超えるため、ビット エラーの確率が増加することを示しています。

ただし、I2C 仕様では、ファストモードで 400kHz のクロック周波数で 3mA よりも高いドライバ強度を使用することが、この制約を克服するのに役立つと規定しています。MSP430FR6047 デジタル IO ピンは、MSP430 電源電圧 VCC = 2.2V のとき、約 0.6V の出力電圧で約 10-mA のローレベル出力電流を駆動できます。

VDD 電源電圧レベル (例えば、2.5V まで放電した一次電池 LiMnO₂) とアプリケーションの周囲動作温度 (例えば、熱量計) の両方のワースト ケース条件で達成可能な最大ケーブル長を検証することは、ユーザーの責任です。

TIDA-010002 DRTD プロブのピーク ケース $\pm 11.13\text{mK}$ の不正確さは、EN 60751 Callender-Van-Dusen (CVD) 基準式を使用した理想的な RTD プロットと各 RTD センサの動作を比較した場合、prEN1434-5:2014 で設定された $\pm 700\text{mK}$ の制限値よりも大幅に優れています。この制限への準拠は、例えば 10°C、30°C、50°C などの 3 つの代表的な温度ポイントで確認する必要があり、これは 図 3-8 で検証されています。

3.2.7 電源

熱量および冷却量計は通常、バッテリー搭載の電源デバイスであるため、重要な設計基準として、超低消費電力の温度測定サブシステムを実装することです。

TMP117 の最小動作電圧が 1.8V であるため、総消費電力が低減され、利用可能なバッテリー容量を最大限に利用できます。これは、標準的な「カットオフ」電圧が 2.0V である LiMnO₂ 3.0V の 1 次セルに最適です。

TIDA-010002 は 3.6V LiSoCl₂ セルとも適切に動作します。後者のセルのカットオフ電圧はアプリケーションに応じて、通常は約 3.1V または 3.2V です。

EVM430FR6047 と DRTD プロブの組み合わせは、外部 E3631A Agilent DC 電源を経由してすべての設定に電力を供給することで、最低 2.05V までテストすることができました。

3.2.8 TMP116 の ESD テスト結果

IEC/EN のテスト波形でキャリブレーションされた業界標準の ESD テストジェネレータを使用して、TIDA-010002 PCB は表 3-5 に示すように ESD 準拠をテストされています。使用する ESD テスト構成の詳細については、TI の保護デバイスの IEC 61000-4-x テストを参照してください。

EN1434-4 の要件に従い、EN61000-4-5 テストは、RTD センサのケーブル長が 10 m を超える場合にのみ適用でき、I2C バス接続では非常に困難です。しかし、サージテストは、2 Ω 負荷経路で 29V の実際のパルス電圧と、ESD デバイスと TMP116 のダウンストリームデバイスの 2.83-Ω の動的抵抗を加えたもので実行されました。

42-Ω 負荷 (2 Ω は CWG ソースインピーダンス、カップリングネットワークから 40 Ω) と ESD351 + TMP116 の動的抵抗 2.83 Ω を加えた場合、結果は電流 6 A (約 269V) の大きさ 44.83 倍になります。

269V は 500V のほぼ半分であり、10 m を超える信号ケーブルに必要です。

表 3-5. TIDA-010002 の ESD テスト

EN 61000-4-2 ESD テスト レベル	接触放電テスト電圧 (±kV)	気中放電テスト電圧 (±kV)	TIDA-010002 ESD351 付き
4	8	15	合格

表 3-5 に記載されている ESD 準拠は、接触放電 4kV、空中放電 8kV に対する必要な制限値 (EN 1434-4:2014-04 に準拠) のほぼ 2 倍です。

ここでは、TPD1E04U04 が代替品として使用できます。±16 kV IEC 61000-4-2 レベル 4 ESD 保護が規定されており、この値は必要な最小値を上回っています。

ESD351 または TPD1E04U04 保護デバイスは、TIDA-010002 PCB 上で単一の 0402 フットプリントを共有しているため、価格または性能に基づく代替品を提供できます。

3.2.9 まとめ

4 線式ケーブルを使用して金属筐体に取り付けた TIDA-010002 リファレンス デザインのテスト結果は、[DIN EN 60751:2008](#) (ドイツおよび EU 規格) に準拠した Class AA 温度計の要件を満たす測定精度が証明されています。

TIDA-010002 の全温度範囲 -55°C ~ +150°C にわたって Class AA の精度を達成するには、シングル (1 ポイント) オフセット調整が必要です。ユーザー アプリケーションで Class A の精度が十分である場合、TMP117 のキャリブレーションは不要です。

全体として、DRTD は Class A または Class AA RTD センサの最高精度を、ユーザー定義のキャリブレーション データを保存するための EEPROM オンチップ メモリという独自の機能と組み合わせます。

DRTD センサごとにキャリブレーション データを保存できることは、標準の白金 RTD と比較して大きな利点であり、書類作業やキャリブレーション データの処理労力を削減することで、センサ メーカーとセンサの最終顧客に大幅なコスト削減を実現します。

-55°C の動作温度範囲が広いこと、計量以外の複数のアプリケーションで高い精度を実現できます。

±8kV の接触放電試験電圧と±15kV の気中放電試験電圧に対して ESD61000-4-2 レベル 4 準拠を検証済みです。

多くの熱量計および冷却量計のように、PT センサと流量計サブシステムが単一ユニットを構成し、全体としてのみ交換可能な場合など、PT センサ インターフェイスとの下位互換性が不要な場合、導入された TIDA-010002 DRTD は、キャリブレーション データの処理の簡素化、複数の受動部品の削減、整合信号 PCB トレースの排除による PCB 設計の簡素化により、システム コストの削減を実現できます。また、従来の産業用薄膜 RTD センサと比較して、複雑な抵抗値から温度への変換計算が完全に不要になるため、ユーザー アプリケーション コードの開発がはるかに簡単になり、マイコンの動作サイクルが少なくなることで追加の電力を節約できます。

画像、テスト条件、プロット、結果を含む詳細なテスト結果が入手可能であり、リクエストに応じて提供できます。

4 デザイン ファイル

4.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.3 レイアウト プリント

レイアウト プリントをダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.4 Altium プロジェクト

Altium Designer® のプロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.5 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.6 アセンブリの図面

アセンブリの図面をダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5 ソフトウェア ファイル

ソフトウェア ファイルをダウンロードするには、[TIDA-010002](#) のデザイン ファイルを参照してください。

6 関連資料

1. [DIN EN 60751:2008](#) (ドイツ語および EU 規格)
2. Beuth, [EN1434-1](#) から [-6](#) まで
3. テキサス インスツルメンツ、[3 線式 RTD 測定システムのリファレンス デザイン、-200°C ~ 850°C](#)
4. 欧州議会および欧州理事会指令 [2014/32/EU \(2014 年 2 月 26 日\)](#) の計量器に関する指令
5. テキサス インスツルメンツ、[TMP117 高精度デジタル温度センサの評価基板](#)
6. テキサス インスツルメンツ、[熱応答に最適化されたウェアラブル温度センシングのレイアウトに関する考慮事項アプリケーション レポート](#)
7. テキサス インスツルメンツ、[TMP117 による正確な温度測定アプリケーション レポート](#)
8. テキサス インスツルメンツ、[USB2ANY インターフェイス アダプタ](#)
9. テキサス インスツルメンツ、[IEC 61000-4-x TI の保護デバイスのテスト](#)
10. NXP Semiconductors、[I2C バス仕様およびユーザーマニュアル](#)、UM10204, Rev. 6
11. [JUMO GmbH & Co. KG](#)

6.1 商標

、MSP430™, SimpleLink™, E2E™, and ブースタ パック™ are trademarks of Texas Instruments.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

7 著者について

MILEN STEFANOV (M.Sc.E.E) は、TI のシステム エンジニアで、グリッド インフラストラクチャ分野の仕事をしており、RF 通信テクノロジーとメーター アプリケーションのエキスパートです。彼はケムニッツ工科大学 (TUC) を卒業してから、研究アシスタントを 5 年間務め、その後 3 年半は半導体業界のシステム エンジニアとして、高速光通信と有線通信に特化していました。彼は 2003 年に TI に入社し、Wi-Fi® のエキスパートとなって、主要な OEMs で TI の Wi-Fi 製品をサポートしています。Stefanov 氏は 2010 年から、欧州のグリッド インフラストラクチャ市場向けのメーターおよび Sub-1GHz RF ソリューションに注力してきました。Stefanov 氏は、欧州で wM-Bus テクノロジーに関する複数の論文を

発表し、ミュンヘンで開催される Wireless Congress および Smart Home & Metering サミットで技術論文を発表しました。

CAL MUCKELBAUER は TI のシステム設計者で、グリッド インフラストラクチャ セグメント向けのリファレンス デザイン ソリューションの開発を担当しています。彼は 2019 年に、メリーランド大学、カレッジパーク校で電気工学の学士号を取得して TI に入社しました。

KALLIKUPPA MUNIYAPPA SREENIVASA は TI のシステムアーキテクトで、産業用セグメント向けのリファレンスデザインソリューションの開発を担当しています。**Sreenivasa** は、高速デジタルおよびアナログ システム設計における経験をこの職務に活かしています。**Sreenivasa** は、インドのマイソールにある VTU で、電子および通信エンジニアリング (BE-E&C) の学士号 (BE) を取得しています。

8 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision * (March 2019) to Revision A (September 2020)	Page
• TMP116 から TMP117 への部品変更を反映するように更新。.....	1
• TMP116 から TMP117 への部品変更を反映するように表を更新しました。.....	2
• TMP116 から TMP117 への部品の変更を反映するよう、デバイスに関する推奨事項セクションを追加しました。.....	4
• TMP116 から TMP117 への部品の変更を反映するよう、温度センサ — TMP117 セクションおよび機能ブロック図を追加しました.....	4
• TMP117 を温度センサとして構成セクションと、TMP117 ベースのデジタル温度センサ回路構成の画像を更新しました.....	7
• DRTD テスト要件セクションを更新し、新しい TMP117 部品に EMI 要件を更新しました.....	13
• 新しい TMP117 部品によって EMI 要件を更新するためのサポート表を含む TMP117 EMI/EMC テスト結果セクションを追加しました.....	13
• TMP117 部品の EMI テストの詳細を示す EN 61000-4-3 テスト構成図と EN 61000-4-3 セットアップのチャンバー内の画像を追加しました.....	13
• サポート画像を含む TMP117 プローブ測定性能テスト結果セクションを追加しました.....	15
• PCB レイアウトに関する推奨事項セクションを削除しました.....	21
• 作成者についてセクションに 2 人の新規作成者を追加します。.....	21

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、TI は一切の責任を拒否します。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月