

TI Designsリファレンス・デザイン CapTivate™ テクノロジー搭載、静電容量式タッチ・サーモスタット・ ユーザー・インターフェイス



TI Designsリファレンス・デザイン

TI Designsリファレンス・デザインは、システムの迅速な評価とカスタム化に必要な方法、試験結果、設計ファイルなどを提供します。市場への投入期間短縮にも役立ちます。

デザイン・リソース

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI	デザイン・ファイルを含むツール・フォルダ
MSP430FR2633	プロダクト・フォルダ
TIDM-FRAM-THERMOSTAT	デザイン・フォルダ
CapTivate Design Center	ツール・フォルダ



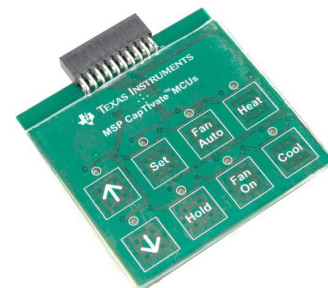
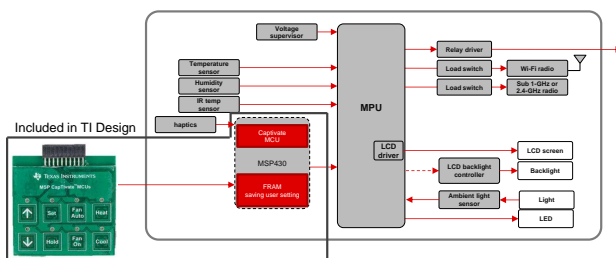
E2Eエキスパートに質問
WEBENCH®設計支援ツール

デザインの特長

- 静電容量式タッチ・センシング用MSP430™CapTivate™マイコン
- CapTivate Design Centerにより、応答時間、感度、その他のパラメータをホストPCからリアルタイムでカスタマイズ可能
- バッテリー寿命を延長するバッテリー動作モードや、ノイズ耐性を向上するライン電源モードなど、複数の動作モード
- バッテリー動作モードでは平均消費電流は50µA未満で、単4電池を使用した場合2年以上のバッテリー寿命を実現
- ライン電源モードでは商業製品レベルのノイズ耐性を実現 (IEC 61000-4-6 Class A, 3Vrms時)
- 相互容量技術により、8個のボタンをわずか6本のマイコン・ピンで制御
- 状態を保持するオルタネート・スイッチとモメンタリ・スイッチの両方の静電容量式スイッチを実装
- 強誘電体ランダム・アクセス・メモリ (FRAM) により、電力非供給時にもボタンの状態と構成を保持

主なアプリケーション

- 静電容量式タッチ・サーモスタット・ユーザー・インターフェイス



An IMPORTANT NOTICE at the end of this TI reference design addresses authorized use, intellectual property matters and other important disclaimers and information.

1 主なシステム仕様

表 1 に、TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの主なシステム仕様を示します。

表 1. 主なシステム仕様

機能	仕様	詳細
ボタン数	8個の相互容量ボタン	4
タッチ・パネル・サイズ	2.5インチx2.5インチ	8
応答時間	バッテリー駆動: 標準 100ms	7.3
	商用電源駆動: 標準 110ms	
消費電力	バッテリー駆動: 44μA	7.2
	商用電源駆動: 1.33mA	
ノイズ耐性	IEC 61000-4-6 Class Aに適合 (3Vrms)	7.1
MSP430FR2633マイコン搭載	MSP430FR2633は、静電容量式センシング用にCapTIvateテクノロジーを内蔵した低消費電力FRAMマイコン	2.2
MSP430FR2633のメモリ容量	バッテリー駆動: 824BのRAM、4.1KBのFRAM	詳細については、 SLAS942 を参照
	商用電源駆動: 976BのRAM、5.2KBのFRAM	

2 システム概要

2.1 概要

サーモスタットは、屋内環境の温度を測定し、選択した設定点へと制御するデバイスです。サーモスタットは、冷暖房やファンなど各種のHVACサブシステムの動作を管理することにより、温度を制御します。サーモスタットの主要な構成要素の1つがユーザー・インターフェイスであり、これにはいくつかのボタンが含まれます。

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、低電力の静電容量式タッチによるサーモスタット・ユーザー・インターフェイスのリファレンス・デザインです。このシンプルなインターフェイスは、相互容量センサ・マトリックスによって形成される8個のボタンから構成されています。マトリックスの使用により、MSP430FR2633 CapTivateデバイス上の6つの入力だけを使用して8個すべてのボタンを測定できます。MSP430FR2633によって、堅牢な静電容量式タッチ・センシング、低電力動作、および高いノイズ耐性を短い応答時間とともに実現できます。

2.2 MSP430FR2633 CapTivateマイコン

MSP430FR2633は、CapTivateテクノロジーを搭載した、FRAMベースの超低電力MSP430マイコンです。CapTivateテクノロジーは、TIの新しい堅牢な容量性センシング・ソリューションです。このテクノロジーを強力なMSP430ペリフェラル・セットと統合することで、MSP430FR2633はユーザー・インターフェイス開発のために理想的なマイコンとなっています。

特長:

- 16個のCapTivate入力により、相互容量モードで最大64個の電極をサポート
- 一度に最大4個の電極を並列にスキャン
- 事前にプログラミング済みの12KBのROMにCapTivateソフトウェア・ライブラリを格納
- 4個の16ビット・タイマと1個の16ビット(カウンタ専用)リアルタイム・クロック(RTC)
- UART、IrDA、SPI、I²C用の3つの拡張シリアル通信ペリフェラル
- 低消費電力モードからのウェイクアップ用に16本の割り込みピンを備えた19個のI/O
- 8チャンネルの高性能10ビットA/Dコンバータ(ADC)
- 最大16MHzの速度で動作するクロック・システム

3 ブロック図

3.1 サーモスタットのブロック図

図 1 に、サーモスタット設計でのTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの使用方を示します。

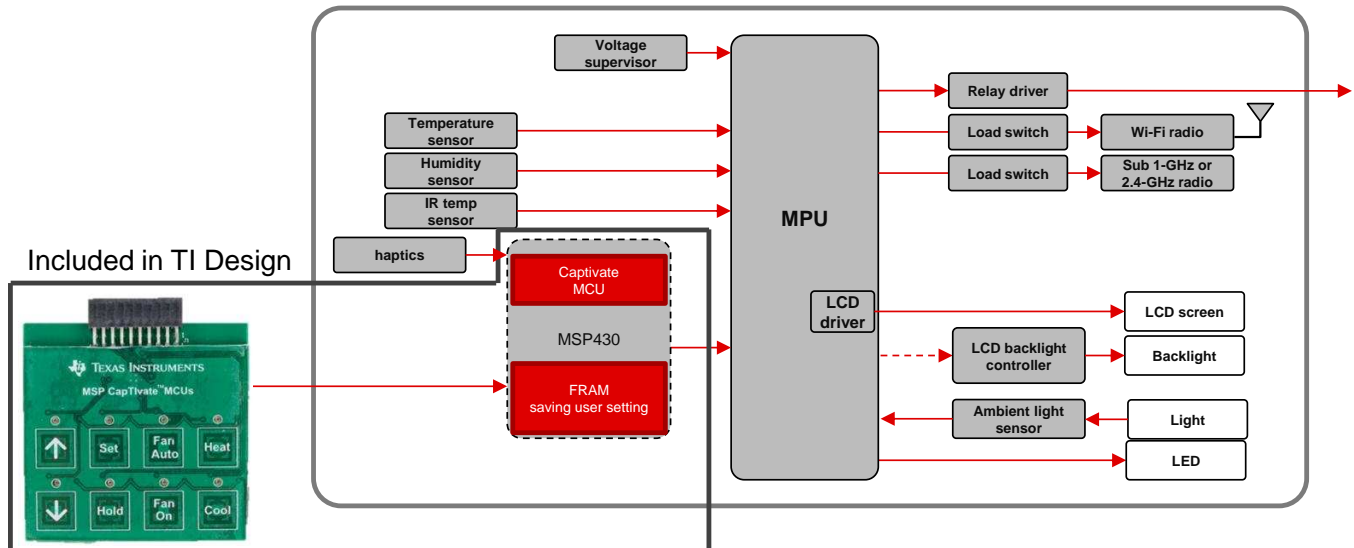


図 1. サーモスタット・アプリケーションのブロック図

3.2 MSP430FR2633マイコンのブロック図

MSP430FR2633マイコンは、多様なペリフェラル・セットを備え、多くの静電容量式センシング・アプリケーションでの使用に理想的です。図 2に、MSP430FR2633マイコンのブロック図を示します。

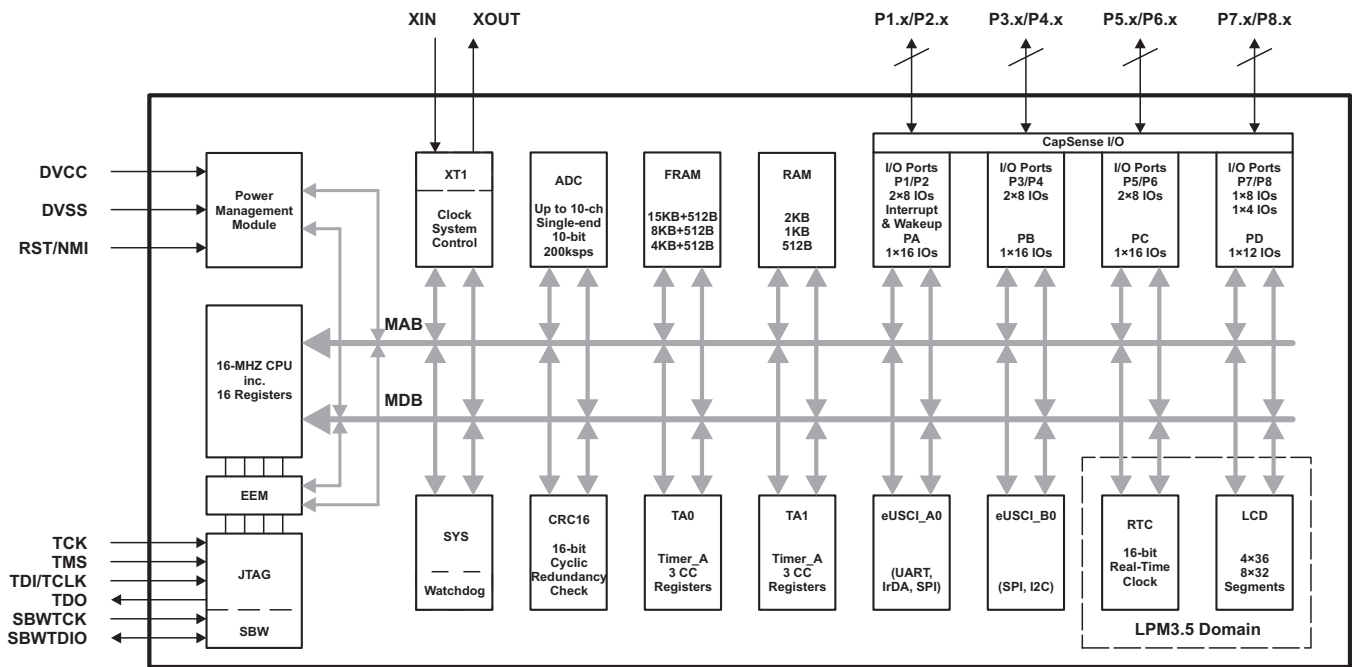


図 2. MSP430FR2633のブロック図

3.3 CapTlvateテクノロジーのブロック図

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの静電容量式センシングは、CapTlvateテクノロジーによって実現されています。CapTlvateテクノロジーは、堅牢な静電容量式センシング測定のために設計されたMSPペリフェラルです。

図 3に、CapTlvateペリフェラルのブロック図を示します。

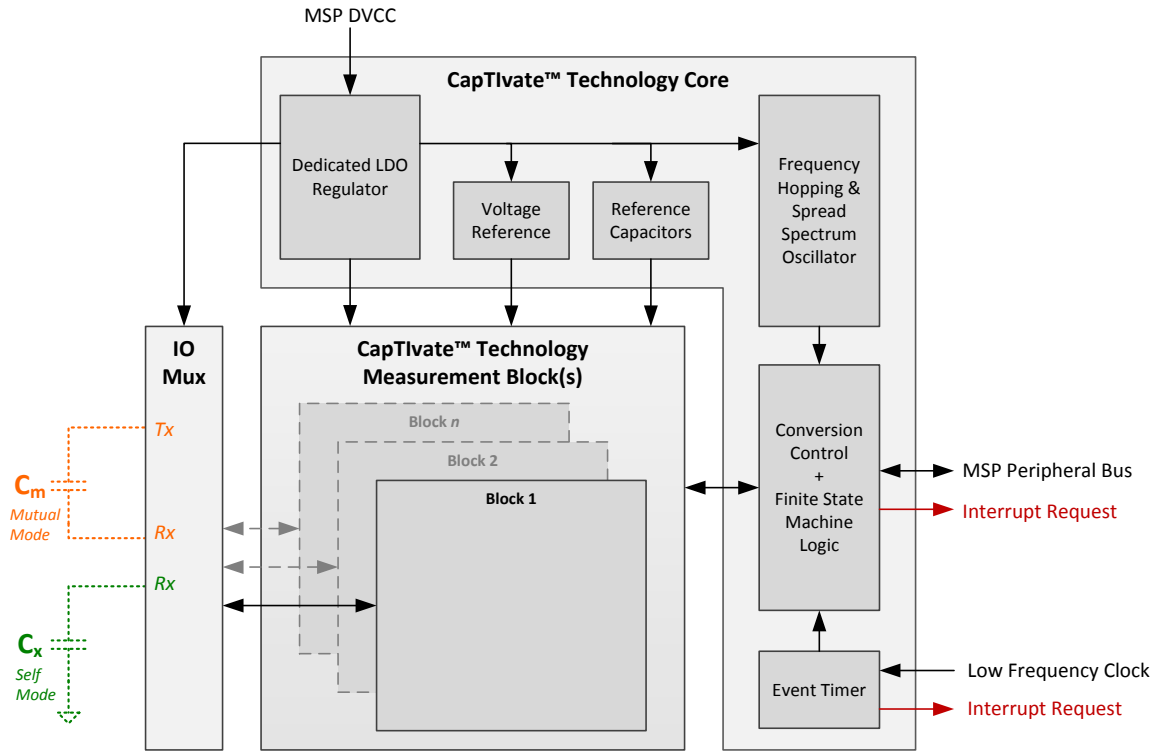


図 3. CapTlvateテクノロジーのブロック図

4 システム設計理論

4.1 機能設計の概要

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIリファレンス・デザインでは、8個の相互容量センサを使用して、8ボタンのサーモスタット・ユーザー・インターフェイスを実装しています。このデザインにおける静電容量式センシングの利点は、サーモスタット・インターフェイス内の容量性センサ素子に機械的部品が不要であるため、製品をスリムにできることです。また、ユーザーはインターフェイス上のすべてのボタンに同じ物理ボタン・レイアウトを使用でき、これらはモメンタリ・スイッチとしても保持型スイッチとしても動作できます。図 4に、2.5mmのポリカーボネート・オーバーレイを使用して完全に組み立てられたTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIを示します。

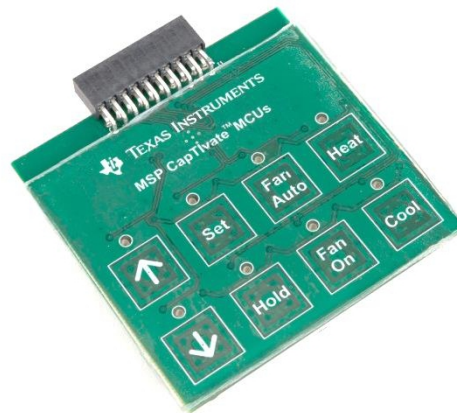


図 4. TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、FRAMを搭載したオンボードのMSP430FR2633 CapTivateマイコン用に設計されています。FRAMは、FeRAMとも呼ばれ、フラッシュと静的ランダム・アクセス・メモリ (SRAM) の長所を組み合わせたメモリ技術です。FRAMは、高速で低電力の書き込みが可能な不揮発性メモリであり、 10^{15} サイクルの書き込みに耐えることができます。このデザインでは、低電力プロファイルを維持しながら、電力が供給されていない間もサーモスタットの設定や状態を保持できるように、FRAMを使用しています。図 5に、基板の裏面にマイコンおよびLEDがどのように搭載されているかを示しています。

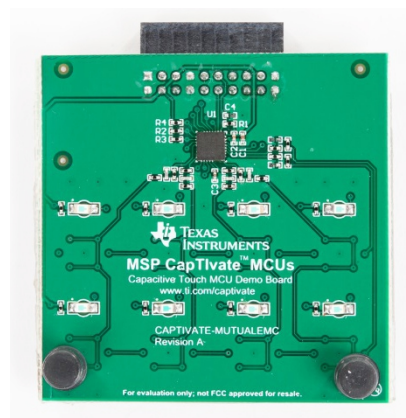


図 5. サーモスタットUIの裏面

4.2 静電容量式タッチと相互容量の理論

静電容量式センシングは、センサの静電容量の変化を測定および検出する機能です。この変化が人の操作によるものである場合、この技術は“静電容量式タッチ・センシング”と呼ばれます。静電容量式センサには、自己および相互という2つの異なる実装方法があります。サーモスタット・インターフェイスのボタンは、相互容量センサとして設計されています。相互容量センサは2つの別個の電極構造から構成され、それぞれがコンデンサ内の1つのプレートとして機能します。一方の電極は送信電極(Tx)と呼ばれ、もう一方は受信電極(Rx)と呼ばれます。

相互容量センサに対するユーザーの操作は、TxとRxの電極間の電界の変化を検出することで識別されます。操作する人は地面との間で接地されており、また人体は導体であるため、人が電極間に接触すると、電極間にグラウンドを配置したのと同様の効果があります。接触によって、電極間の電界結合が弱まり、全体の容量が低下します。この容量の変化が指定のスレッシュホールドを上回ったときに、接触が識別されます。

4.2.1 CapTlvateテクノロジー

CapTlvateテクノロジーは、独自の電荷転送手法を使用して、静電容量式センシング測定を実行します。この手法は、コンデンサが電荷蓄積素子であるという原理に基づいています。静電容量式タッチ電極は、特定の電圧が印加されたときに一定量の電荷を保持します。

CapTlvateテクノロジーでは、外部コンデンサ(電極またはセンサ)に蓄積された電荷量を測定するために、DC電圧でコンデンサを充電した後、蓄積された電荷を外部コンデンサよりもずっと大きなチャージ・バケットに転送します。このチャージ・バケットは、大きな内部サンプリング・コンデンサとして実装されています。この充電と転送のプロセスをサンプリング・コンデンサが満杯になるまで繰り返すことにより、CapTlvateテクノロジーは、外部コンデンサのサイズの相対測定を可能にします。

CapTlvateテクノロジーは、同時に最大16個の自己容量電極または64個の相互容量電極をサポートできます。また、CapTlvateテクノロジーには、幅広い範囲の外部コンデンサに対応するためのハードウェア・ツールのセットが用意されています。CapTlvateの詳細については、『*CapTlvate Technology Guide*』(www.ti.com/CapTlvateTechGuide)を参照してください。

4.3 ノイズ耐性

このサーモスタット・ユーザー・インターフェイスの主な利点の1つは、ノイズ耐性が高くなるように設計されていることです。静電容量式タッチ・センシング・アプリケーションでは容量の非常に小さな変化を測定できる必要があるため、ノイズ耐性が特に重要となります。静電容量式センシング電極で測定される容量の変化は、多くの場合、1pF以下のオーダーです。電氣的にノイズの多い環境にさらされる可能性のある静電容量式タッチ回路は、ノイズ耐性を考慮して設計することで、このような大きさの測定値を一貫して取得できるようにする必要があります。

4.3.1 導電性RFノイズについて

導電性RF干渉は、ケーブル、ワイヤ、PCBパターンなどを通して、導体と直接接触することでシステムまたはデバイスと結合する干渉です。静電容量式タッチ・センシングを使用するシステムに導電性ノイズが結合する一般的な状況は、電源を通しての結合です。

静電容量式タッチ・システムの設計時には、導電性RFノイズに注意する必要があります。これは、静電容量式タッチI/Oへのノイズ電流の注入につながる可能性があるためです。そのような電流が注入されると、I/O上の容量が実際よりも大きくまたは小さく見える場合があります。そのような状況で静電容量式I/Oを測定した場合、タッチの検出失敗や誤検出の原因となります。

4.3.2 CapTlvateテクノロジーでのEMC

静電容量式センサをマイコンで測定する場合は、一般に、特定のスキャン周波数で測定を行います。センサを1つの周波数でスキャンすると、スキャン周波数またはその高調波付近で伝播する導電性ノイズの影響を受けやすくなります。これを防ぐために、CapTlvateテクノロジーでは周波数ホッピングを行います。これは、最大4つの異なる周波数で静電容量式センサをスキャンする機能です。使用される各スキャン周波数で、それぞれ別個にセンサの測定値が得られます。結合されたノイズが測定値の1つに影響を与える場合は、他の測定値のデータを使用してノイズを検出し、マルチ周波数処理(MFP)アルゴリズムによって適切な測定値を取得できます。

周波数ホッピングは、CapTlvateペリフェラルで提供されるいくつかのEMC機能のうちの1つです。CapTlvateテクノロジーで提供されるEMC機能の詳細については、『*CapTlvate Technology Guide*』(www.ti.com/CapTlvateTechGuide)を参照してください。

4.3.3 フィルタ素子

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、CapTlvate I/Oの各Rxライン上でグラウンドとの間に68pFのコンデンサを配置することで、ノイズ耐性をさらに向上させています。これらのコンデンサは、ノイズ電流のリターン用にシャントパスを提供し、Rxラインの安定性を高めています。このコンデンサの追加による効果として、ノイズがセンサ測定値に影響を与える可能性のある、各スキャン周波数付近の周波数帯域の幅が減少しています。CapTlvateテクノロジーによる相互容量設計では、開発中に必要になった場合に備えて、回路のグラウンドとの間に33pF~68pFのコンデンサを接続できるよう準備しておくことを推奨します。約68pFの容量を使用すると、帯域幅が最も狭くなりますが、寄生容量への寄与も大きくなります。

4.3.4 電極の形状

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI上のセンサは、Tx電極とRx電極間の結合を強化し、寄生容量を減少させるように設計されています。図 6に、1個のセンサのレイアウトを示します。

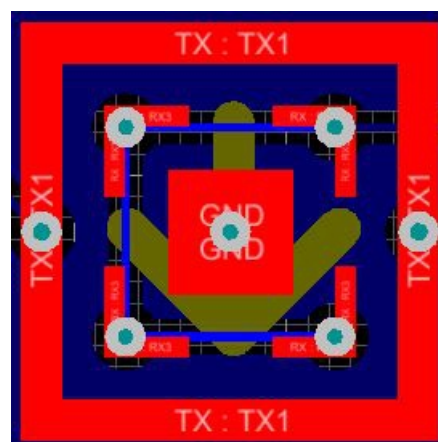


図 6. ダウン・ボタン電極の形状

Tx電極とRx電極間の電界結合は、各電極の角の部分で最も強くなります。電界中のこの部分は、ユーザーがタッチ時に最も多く触れる部分でもあります。結果として、センサの辺の部分での結合は大部分が寄生容量として作用します。このデザインでは、Rx電極の辺の部分を取り除くことで、寄生容量を減らしています。RxおよびTx電極間に密結合を保持するために、センサの中央にグラウンド・プレーンを配置しています。2つの電極間に強制された密結合によって、外部ノイズへの耐性が向上し、このデザインを使用した複数のボタンを互いに近づけて配置できるようになります。

5 ハードウェアの概要

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、TIストアでは販売していません。TIデザインとともにハードウェア・デザイン・ファイルが提供され、複製できるようになっています。または、MSP-CAPT-FR2633開発キットを購入することで、幅広い範囲の静電容量式タッチ構成でCapTIvateテクノロジーを評価できます。このキットには、CapTIvateマイコンEVMに加えて、さまざまな静電容量式タッチ・アプリケーションでCapTIvateテクノロジーを評価するための複数のタッチ・パネルが含まれています。これらのタッチ・パネルは、EVMと直接インターフェイスできるため、プラグ・アンド・プレイで簡単に使用できます。

MSP-CAPT-FR2633に含まれるタッチ・パネルとは異なり、TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、CapTIvateマイコンEVMへのインターフェースの代わりにオンボードのMSP430FR2633が搭載されています。それにより、ノイズ耐性が向上しています。パネルとEVMの間に大きなコネクタがあると、大きなノイズ源となります。TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIを使用するには、CAPTIVATE-PGMRに直接プラグインします。

6 ファームウェアの概要

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI用に用意されたサンプル・ファームウェアは、CCS v6.1.0.00104およびTI Compilerバージョン4.4.3を使用して開発されています。サンプル・ファームウェアを評価するには、最新バージョンのCCSをダウンロードしてください。サンプル・プロジェクトは、[TIデザイン・ソフトウェアのインストール・ルート・ディレクトリ]/Firmware/Source/*からCCSワークスペースにインポートできます。

6.1 サーモスタット・アプリケーション - スタンドアロン

サーモスタットのデモ・アプリケーションのソース・コードは、表 2 に示す複数のファイルから構成されています。

表 2. デモ・アプリケーションのソース・コード・ファイル

名前	説明
main.c	アプリケーションのメイン関数
Thermostat_UI_Demo.h	デモの初期化および型定義ヘッダ・ファイル
Thermostat_UI_Demo.c	デモの初期化およびタッチ・イベント・ハンドラ・ファイル
Thermostat_UI_LEDs.h	LED定義およびマクロ・ヘッダ・ファイル
Thermostat_UI_LEDs.c	LED更新関数ファイル

デモ・アプリケーションは、温度、ファン・ユニット、および冷暖房ユニットの制御を行うプログラマブル・サーモスタットをシミュレートします。サーモスタットが制御するユニットの状態は、LEDを使用してタッチ・パネルに表示されます。TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、選択した温度を表示することはできませんが、デバッグ用に変数としてFRAMに保存されます。UPおよびDOWNボタンを押すたびに、温度変数がそれぞれ1度ずつ増加または減少します。

注: サンプルでのキーパッドの調整は、ボタン上に2.54mmのポリカーボネート製カバーを取り付けたTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIに対して設定されています。

2つのサンプルCCSプロジェクトが提供されています。これらは、それぞれ異なるセンサ構成を使用して、スタンドアロンのサーモスタット・デモ・アプリケーションを実行します。

6.1.1 商用電源サンプル

商用電源サンプル・プロジェクトは、CapTivateソフトウェア・ライブラリの導電性ノイズ耐性機能をイネーブルにした状態でサーモスタット・デモ・アプリケーションを実行します。また、商用電源プロジェクトでは、強力なデバウンシングおよびフィルタリング機能を使って、ノイズの多いサンプルによるパフォーマンスへの影響が小さくなるようにしています。短いスキャン遅延時間を使用することで、測定時間および後処理の要件が厳しくなった場合でも、タッチへのすばやい応答を実現しています。

6.1.2 バッテリ駆動サンプル

バッテリ駆動サンプルでは、ノイズ耐性機能をオフにし、スキャン遅延時間を長くすることでCPUのアクティビティを低減します。バッテリ駆動サンプルでは、長いスキャン遅延時間でも応答時間を短く保つために、デバウンスは使用せず、フィルタリングも最小限にとどめています。バッテリ駆動構成では、消費電力が大きく減少しますが、ノイズに対する保護は弱まります。バッテリ駆動のリモート・サーモスタットなどのアプリケーションでは、消費電力とノイズ耐性の間でトレードオフが考慮されています。

6.2 TIDM-FRAM-THERMOSTATによるサーモスタット・アプリケーション

静電容量式タッチ・マイコンは、メインのアプリケーション・プロセッサとして使用することも、単に専用のマンマシン・インターフェイス(HMI)として使用することもできます。TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIには、マイコンをTIDM-FRAM-THERMOSTAT用の専用HMIとして使用する方法を示すサンプル・プロジェクトが付属しています。TIDM-FRAM-THERMOSTATに対しては、タッチ・パネルとのインターフェイス用にマスタI²Cドライバを含む別個のソース・コードが提供されています。

この2つを一緒に使用することにより、TIDM-FRAM-THERMOSTATのLCDをTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIで制御できるようになります。図 7に、これらのデザインを使用して実行されているアプリケーションを示します。



図 7. TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIとTIDM-FRAM-THERMOSTAT

このアプリケーションでは、TIDM-FRAM-THERMOSTATによってTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIに電源を供給する必要があります。TIDM-FRAM-THERMOSTATからTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTATに電源を供給するためには、これらのデザインをメス-オスのジャンパ線で接続します。表 3に、デザイン間のインターフェイスに必要な接続の一覧を示します。

表 3. 必要なデバイス接続

TIDM-FRAM-THERMOSTAT	TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI
VCC	VCC
GND	GND
SDA/SIMO (P5.2)	SDA (P1.2)
SCL/SOMI (P5.3)	SCL (P1.3)
GPIO 0 (P1.2)	IRQ (P1.1)

7 テスト

このセクションでは、TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIで実行したテストについて説明します。これには、導電性RF耐性テスト、電源プロファイリング、および応答時間測定に対するテスト構成と結果の説明が含まれています。

7.1 導電性RF耐性テスト (IEC 61000-4-6)

IEC 61000-4-6は、150kHz～80MHzの範囲にわたる導電性ノイズ耐性テストに対する制約を規定しています。TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、300kHz～80MHzの範囲内の導電性ノイズについてテストされています。

7.1.1 合格/不合格の基準

IEC 61000-4-6のClass Bに合格するには、テスト中に静電容量式タッチ・システムによる誤検出がなく、マイコンによる意図しないリセットも発生しないことが必要です。意図しないリセットには、マイコンの意図しないロックアップも含まれます。Class Aに合格するには、システムがすべての有効なタッチを検出する一方で、テスト中のいかなる時点でも誤検出がないことが必要です。Class Bの場合と同じ、意図しないリセットに関する制限が、Class Aにも適用されます。

7.1.2 構成とテスト手順

図 8 に、IEC 61000-4-6に従ったTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIのテストに使用される構成を示します。

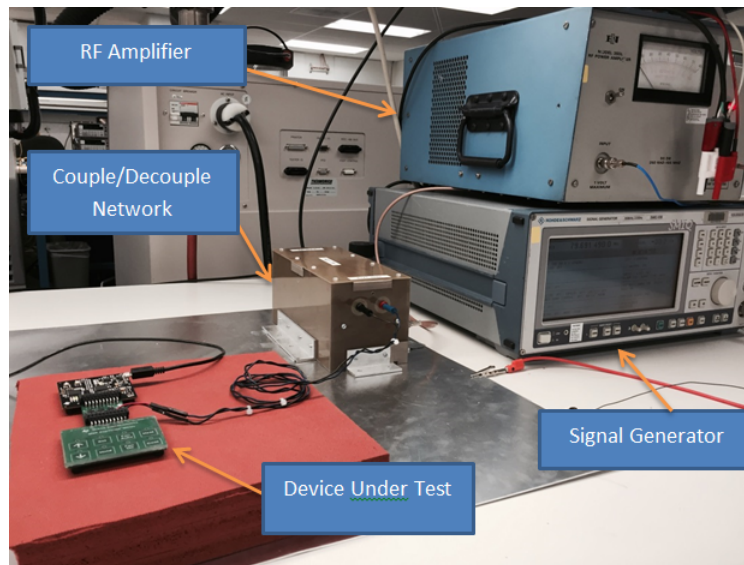


図 8. IEC 61000-4-6のテスト構成

この構成では、基板が接地面から約10cm上方にあり、電源の出力にノイズを結合するカップリング/デカップリング回路から給電されています(図8には電源は示されていません)。信号ジェネレータを使用して、300kHz~80MHzの正弦波ノイズ掃引を生成し、1kHzの正弦波キャリア周波数を使用して80%の深さで振幅を変調しています。RFアンプを使用して、ノイズ信号のストレス・レベルを3Vrmsにしています。

CapTivate Design Centerを使用して、タッチ・パネル上のセンサからのデータを収集しました。タッチ・パネルは、CAPTIVATE-PGMRを通してバック・チャンネルUART経由でDesign Center GUIに接続しました。CAPTIVATE-PGMRには独立して電源が供給され、テスト中はCAPTIVATE-ISO絶縁基板によってタッチ・パネルの電源から絶縁されています。

- 7.1.3** 最初のテストでは、電源にノイズを注入しながら、4種類のスキャン周波数を使用して、タッチ・パネル上でタッチされていないボタンの測定値を記録しました。これらの測定値は、300kHz~80MHzの範囲にわたってノイズの周波数掃引を実行しながら、連続的に記録されました。テスト中、どのボタンにも誤タッチは記録されませんでした。図9に、各スキャン周波数で収集された未処理データを示します。

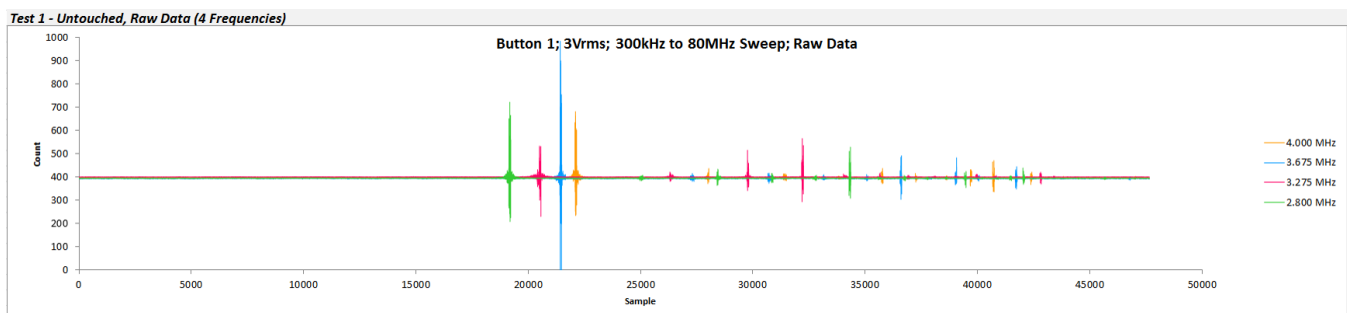


図 9. タッチなし、未処理データ(カウント対時間)

周波数掃引中のいくつかの位置で、未処理データに乱れが見られます。最初の4つのピークは、電源に結合したノイズが基本スキャン周波数であった箇所として特定できます。後のサンプルで発生している、より小さいピークは、ノイズが4つのスキャン周波数の高調波であった箇所として理解できます。各個別のスキャン周波数での測定値がノイズによって乱れていますが、処理後の測定値は、図10に示されるように、掃引中ずっと一貫しています。

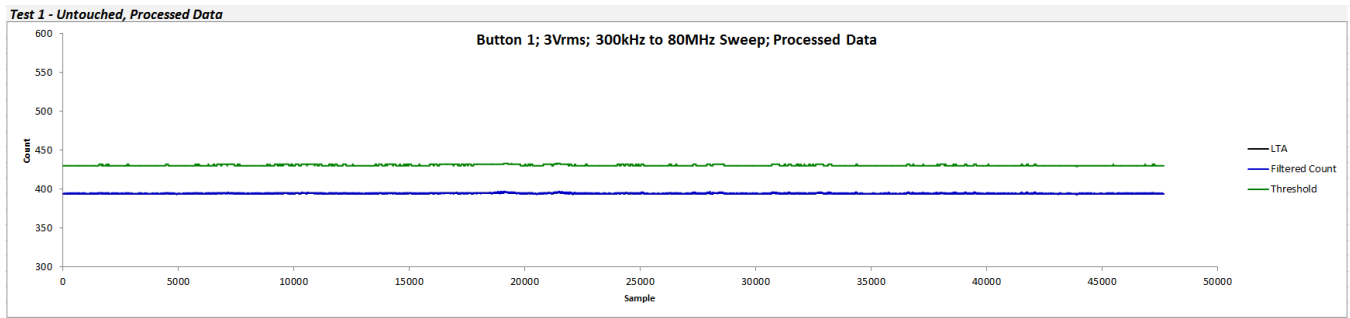


図 10. タッチなし、処理済みデータ(カウント対時間)

周波数掃引中、フィルタリングされたカウント値は安定し、スレッショルド値を下回っていました。センサではテスト中ずっと一貫して、期待どおりに、“タッチなし”を記録しました。

2番目のテストは最初と同じ方法で実施されましたが、周波数掃引中のタッチをシミュレートするために、ボタンに金属製プローブが当てられました。TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIは、テスト期間中全体にわたって、正しくタッチを識別しました。図 11 に、各スキャン周波数で記録された未処理データを示します。

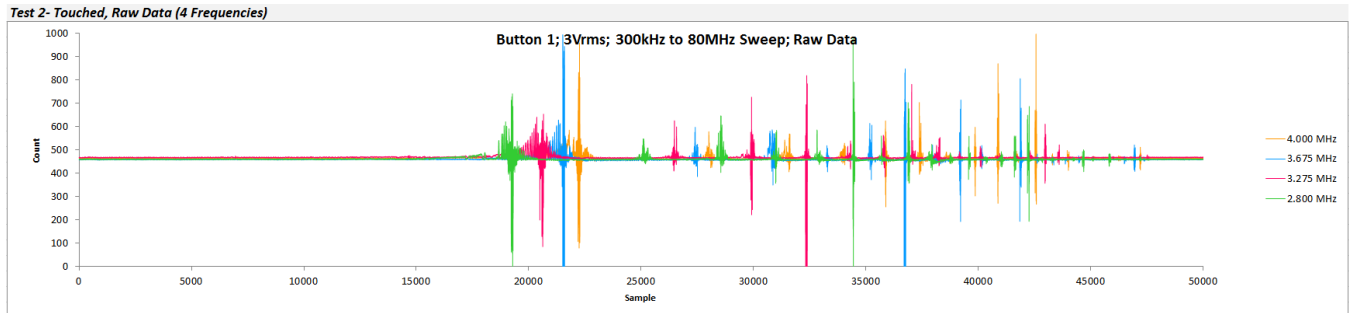


図 11. タッチあり、未処理データ(カウント対時間)

この未処理データでは、タッチなしのケースと比較して、4つのスキャン周波数付近のより広い帯域で測定値が乱れています。ただし、CapTivateテクノロジーのフィルタリングされた出力は、期待どおり一貫してタッチ範囲に入っていました。この段階までストレスが加えられると、フィルタリング出力にも多少のノイズが現れていますが、インターフェイスの性能に影響はありません。これらの結果は、IEC 61000-4-6のClass A要件を満たしています。図 12 に、テストの処理済みデータを示します。

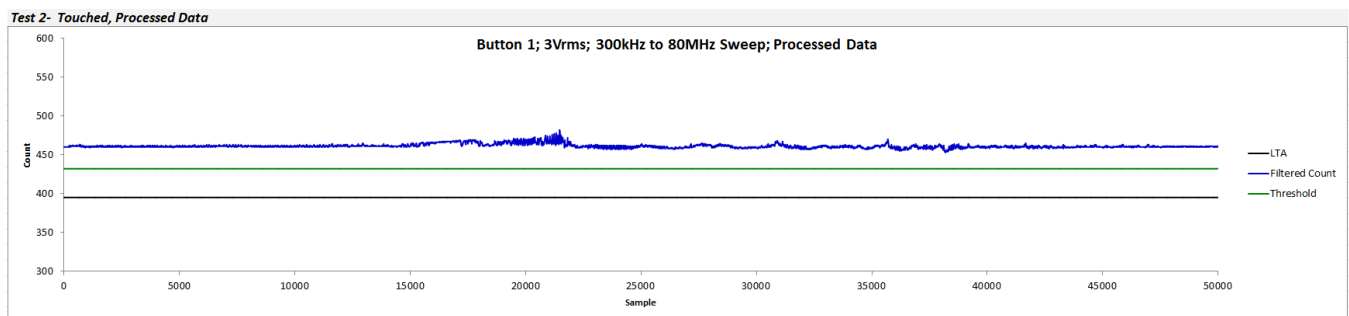


図 12. タッチあり、処理済みデータ(カウント対時間)

7.2 電力プロファイル

提供されている各サンプル・アプリケーションでのTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの電力プロファイルは、DCパワー・アナライザを使用して収集されています。DCパワー・アナライザを使用して、タッチ・パネルに3.3Vの入力電圧を印加し、消費電流を測定しました。電力テスト用に、通常はデザインでタッチを示すために使用するLEDをオフのままにしました。Thermostat_UI_Demo.hファイルでPOWER_TESTINGシンボルをコメント解除することにより、サンプル・ソフトウェアを電力テスト・モードで実行できます。テスト中にLEDをオフに保持することで、さまざまな構成におけるMSP430FR2633 CapTlvateマイコンの消費電力をより適切に示すことができます。また、LEDをオフにするのは、それらがデザインの主要な部分ではなく、最終製品では省略される場合もあるためです。図 13に、バッテリー駆動のサンプルで実行中のデザインの消費電流を示します。

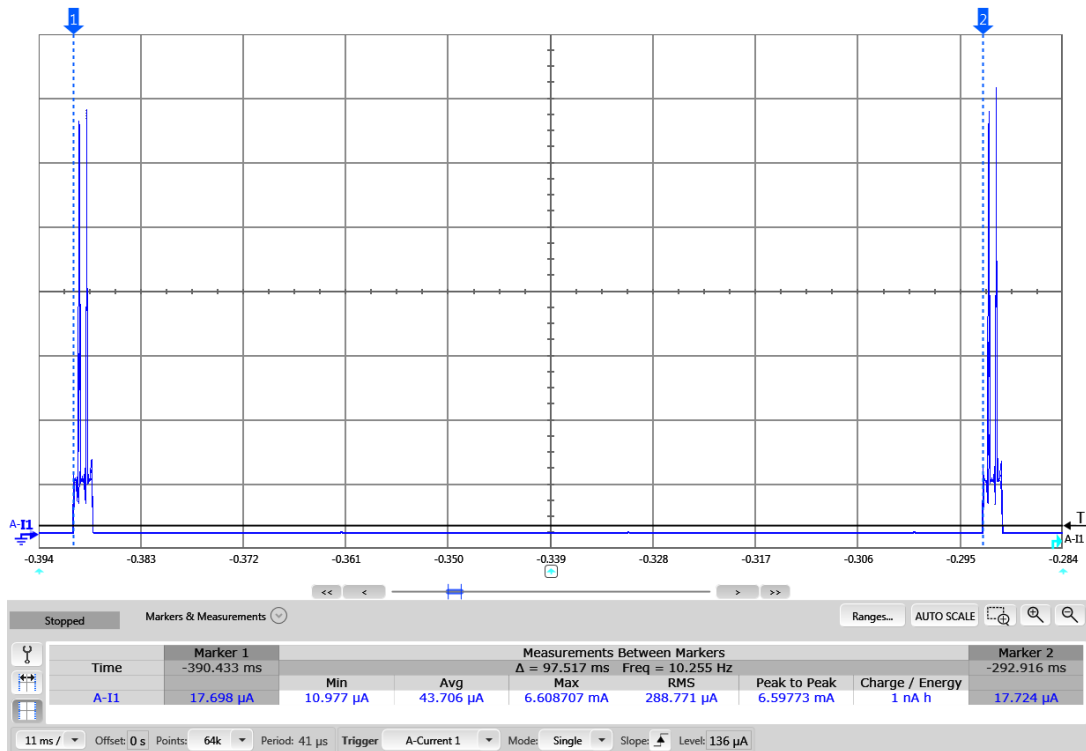


図 13. バッテリー駆動サンプルの電力プロファイル、2回の測定（電流対時間）

図 13では、スキャン遅延時間を挟んだ2回の測定期間が示されています。バッテリー駆動最適化を適用した状態での1回の測定期間とスリープ・サイクルに対する平均消費電流は、約43.7 μ Aです。図 14に、測定期間中の消費電流の詳細図を示します。

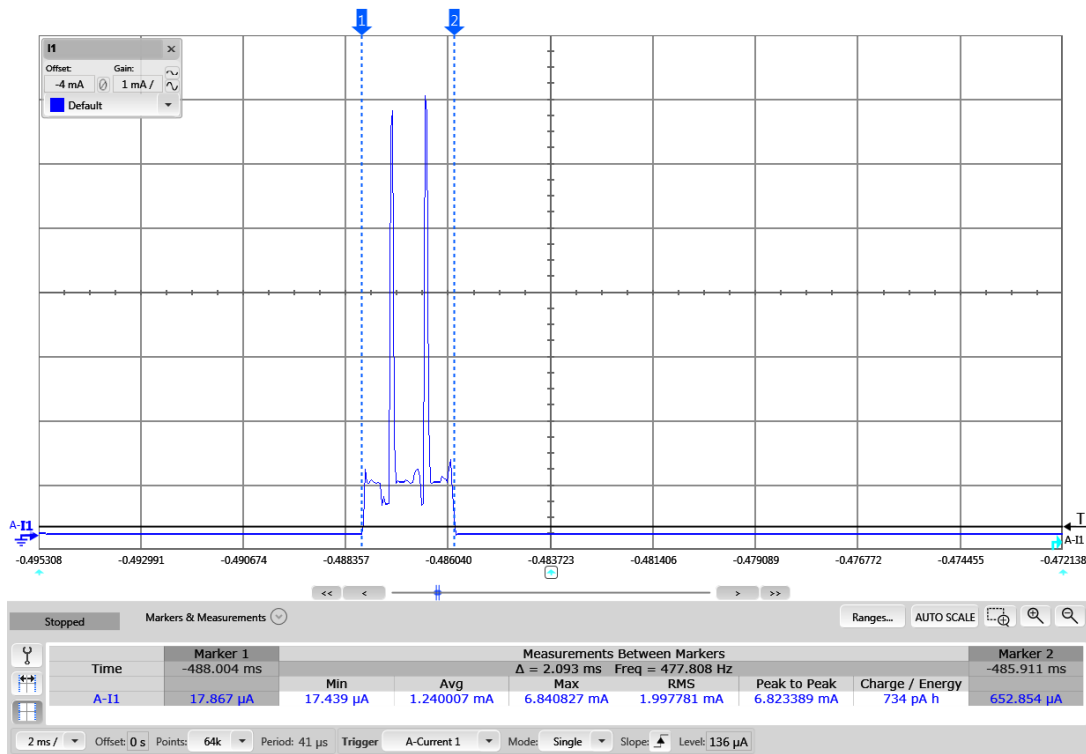


図 14. バッテリー駆動サンプルの電カプロフィール、1回の測定(電流対時間)

消費電流が最大になるのは、デバイスがキーパッド・センサ上のボタンを測定中のときです。センサ上のボタンは2つの個別の測定サイクルに分けられているため、これらの期間中には電流に2つのピークが生じます。したがって、キーパッド全体のステータスを更新するには、2回の測定サイクルが必要となります。ボタンは1つの周波数でのみスキャンされるため、このバッテリー駆動モードでボタンを測定するために必要な時間は、商用電源モードの場合よりもずっと短くなります。図 15に、商用電源モードでの消費電流を示します。

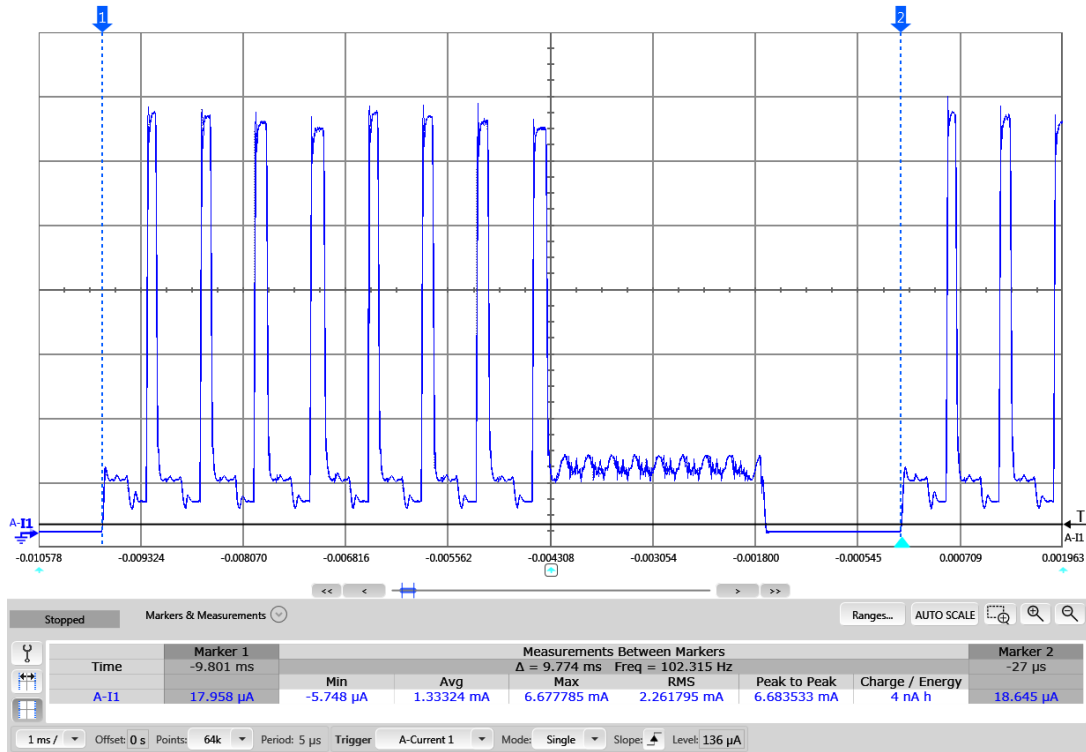


図 15. 商用電源サンプルの電力プロファイル(電流対時間)

商用電源サンプルの場合、消費電流は約1.33mAです。各サイクルが1回ではなく4回測定され、合計で8回の測定サイクルがあるため、消費電流はバッテリー駆動モードのときよりもずっと大きくなります。また、バッテリー駆動サンプルと比べて、より多くの後処理が測定値に適用されます。長い測定時間と追加の後処理で短い応答時間を実現するために、スキャン遅延時間は10msしかありません。その結果、デバイスはほとんどの時間を低電力モード以外で動作します。

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIとTIDM-FRAM-THERMOSTATの間のインターフェイスに使用されるサンプル・コードは、バッテリー駆動のスタンドアロン・サンプルに基づいています。バッテリー駆動のセンサ構成により、この2つのデザインを組み合わせると低電力プロファイルを保持するデモが可能になります。図 16に、2つのデザインを組み合わせさせたデモでの合計の消費電流を示します。

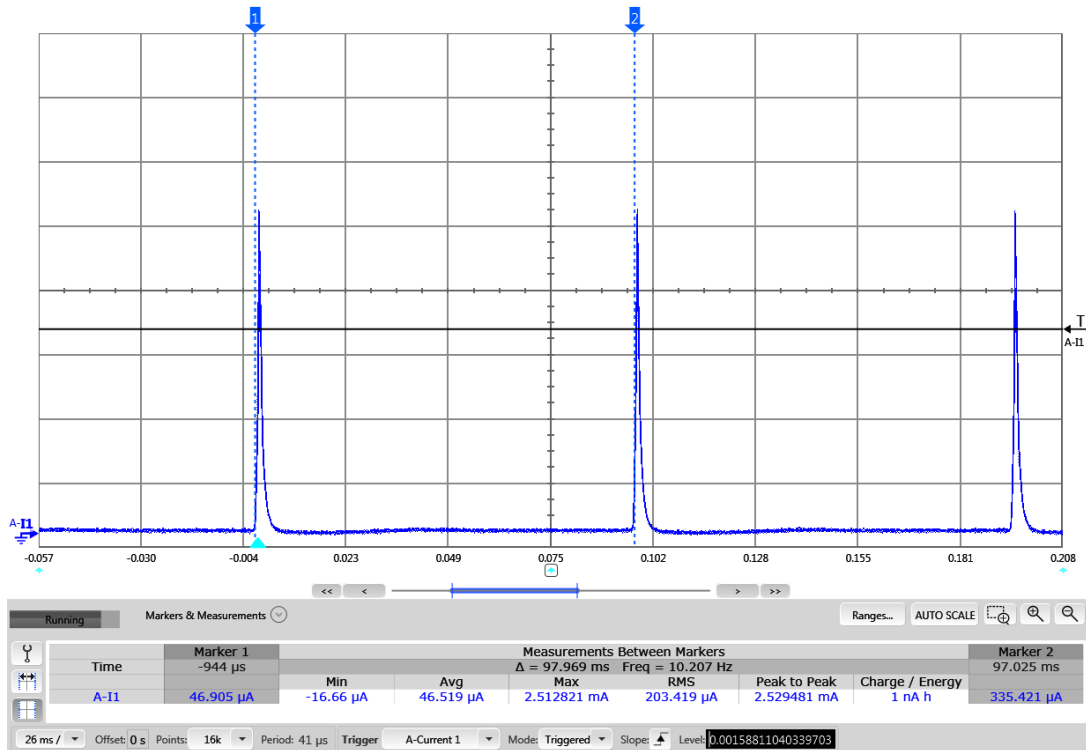


図 16. LCDオフでのTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIおよびTIDM-FRAM-THERMOSTATサンプルの電力プロファイル(電流対時間)

図 16に示されるように、LCDをオフにしたときのデモの消費電流は約46.5 μ Aです。TIDM-FRAM-THERMOSTATは、新しい温度測定またはLCDの更新が必要なときにだけ低電力モード(LPM3)から出るので、この消費電流は可能な値です。LPM3モードでは、TIDM-FRAM-THERMOSTATの消費電流は平均で3 μ A未満です。図 17に、LCDがオンのときに消費電力がどのように増加するかを示します。

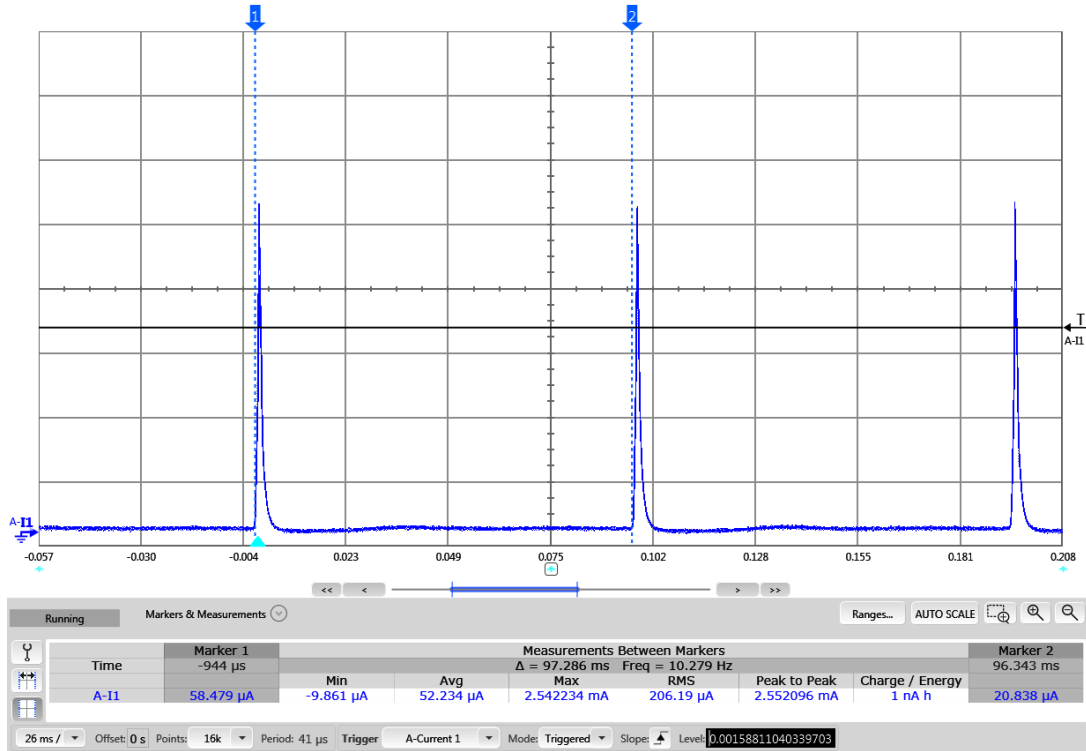


図 17. LCDオンでのTIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIおよびTIDM-FRAM-THERMOSTATサンプルの電カプロファイル(電流対時間)

LCDがオンのときのデモの電力プロファイルは、オフのときとほぼ同じですが、LCDへの電源供給用に追加で5.7 μ Aのベースライン電流が使用されます。合計の平均電流は52.2 μ Aであり、これは単4電池で約2年間動作するために十分低い値です。

7.3 応答時間

応答時間は、ユーザー・インターフェイス上のタッチから、それに対する応答までの遅延時間です。インターフェイスの応答時間は、多くの場合、ユーザーによる使用感に大きな影響を与えます。静電容量式タッチ・インターフェイスを開発する際には、応答時間をできる限り短くする必要があります。

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIのワーストケースの応答時間が、商用電源およびバッテリー駆動アプリケーションに対して評価されています。ワーストケースの応答時間は、1つのボタンの測定完了直後に再度そのボタンがタッチされた場合の応答時間です。結果としてのワーストケース遅延は、近接検出とタッチ検出の間の遅延時間にスキャン時間を加算して見積もることができます。近接検出は通常はタッチの発生前に行われるため、この見積もりは実際には標準的な応答時間よりも長めの値となります。また、ほとんどのタッチではスキャン時間全体が経過する前に測定を行うため、これはワーストケースの応答時間でもあります。

バッテリー駆動アプリケーションでは、近接検出からタッチの登録までの間に遅延時間は観測されませんでした。遅延が観測されないのは、デバウンス機能が実装されておらず、バッテリー・モードでは消費電力を低く保つために測定値に対して最小限のフィルタリングしか行わないためです。バッテリー・アプリケーションでは、スキャン時間は0.1秒に設定されています。結果として、ワーストケースの応答時間はほとんどがスキャン時間で占められ、約0.1秒となります。

商用電源アプリケーションでは、ノイズへの耐性を高めるために大幅なデバウンスとフィルタリングが使用されません。測定値の後処理によって、近接検出とタッチ登録の間の遅延時間は、タッチの速度や特性によって変化します。この遅延時間は、指がパネルに近づく速度が速いほど短くなります。また、タッチの表面積が大きい場合にも短くなります。

商用電源アプリケーションでのワーストケースの応答時間は、一連の10回のタッチに対して応答時間を測定することで評価しました。表 4 に、テスト中に収集されたデータを示します。

表 4. 商用電源での応答時間測定

タッチ回数	近接検出からタッチ検出までの遅延時間(秒)	スキャン時間(秒)	合計応答時間の近似値(秒)
1	.0880	.010	.0980
2	.0782		.0882
3	.0684		.0784
4	.0684		.0784
5	.1173		.1273
6	.1076		.1176
7	.0782		.0882
8	.0978		.1078
9	.2054		.2154
10	.0978		.1078
Avg	0.1007		0.1107

表 4 に示されるように、商用電源アプリケーションでの応答時間は、測定時間およびCapTivateテクノロジーで実行される後処理によって占められています。結果として得られた近似応答時間の平均値は0.1107秒です。表 5 に、バッテリー駆動アプリケーションと商用電源アプリケーションでの応答時間を比較のために示します。

表 5. 応答時間の比較

構成	応答時間の近似値(秒)
バッテリー駆動アプリケーション	0.10
商用電源アプリケーション	平均0.11

8 デザイン・ファイル

8.1 回路図

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの回路図をダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI>のデザイン・ファイルを参照してください。図 18に、このデザインの回路図を示します。

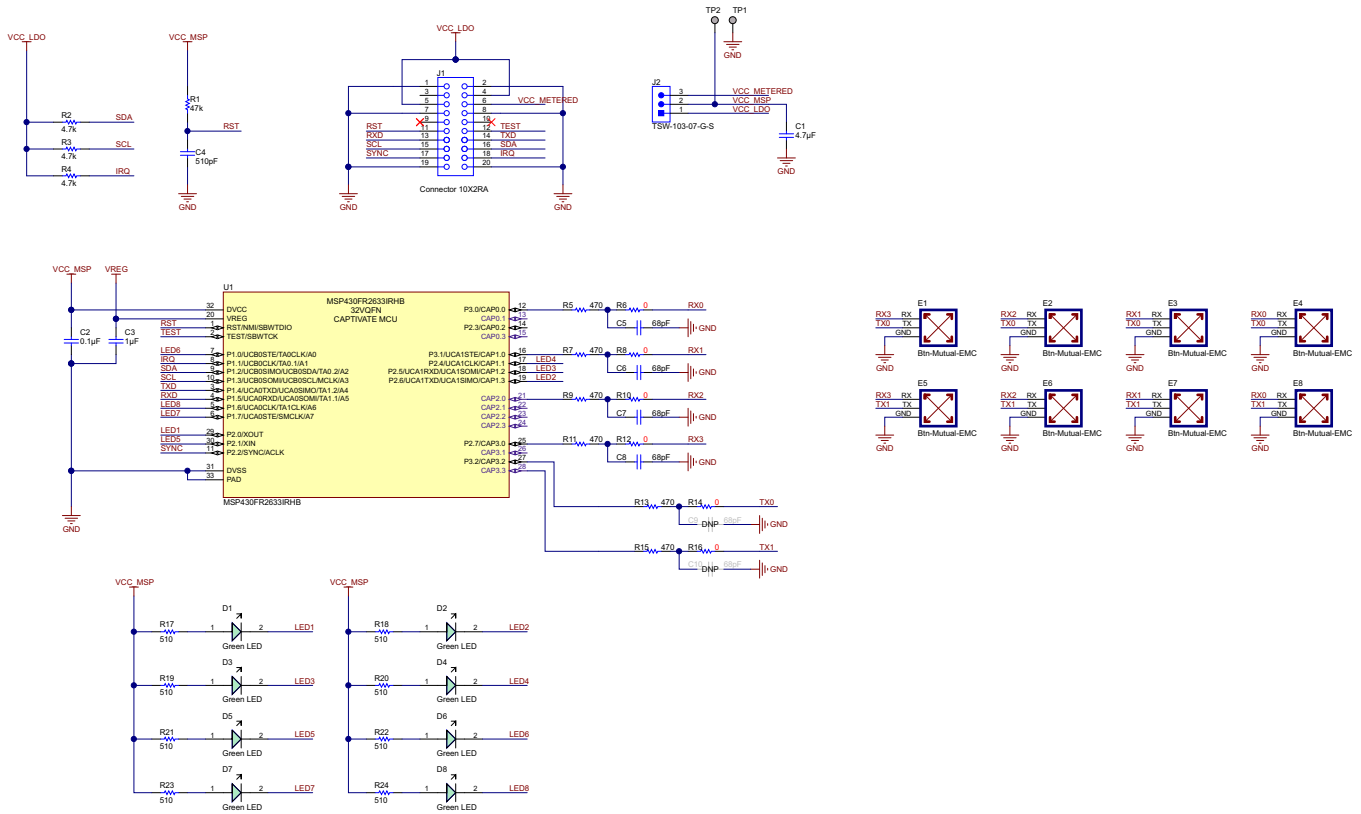


図 18. 回路図

8.2 部品表

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの部品表をダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI>のデザイン・ファイルを参照してください。

表 6. 部品表

コード	数量	値	説明	パッケージ記号	型番	メーカー
C1	1		CAP, CERM, 4.7 μ F, 6.3 V, +/- 20%, X5R, 0402	0402	C1005X5R0J475M050BC	TDK
C2	1		CAP, CERM, 0.1 μ F, 6.3 V, +/- 10%, X5R, 0402	0402	C1005X5R0J104K	TDK
C3	1		CAP, CERM, 1 μ F, 6.3 V, +/- 20%, X5R, 0402	0402	C1005X5R0J105M	TDK
C4	1		CAP, CERM, 510 pF, 25 V, +/- 5%, C0G/NP0, 0402	0402	GRM1555C1E511JA01D	MuRata
C5, C6, C7, C8	4		CAP, CERM, 68 pF, 50 V, +/- 5%, C0G/NP0, 0402	0402	GRM1555C1H680JA01D	MuRata
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	8		LED, 緑色, SMD, 逆実装, 1206	1206	597-6301-607F	Dialight
FID1, FID2, FID3	3		基準マーク。購入または実装が必要なものはありません。	Fiducial	N/A	N/A
J1	1		コネクタ, メス, 10ピン, 2列, 直角		SSW-110-22-F-D-RA	Samtec
J2	1		ヘッダ, 100mil, 3x1, 金色, TH	3x1 Header	TSW-103-07-G-S	Samtec
R1	1		RES, 47 k, 5%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW040247K0JNED	Vishay-Dale
R2, R3, R4	3		RES, 4.7 k, 5%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW04024K70JNED	Vishay-Dale
R5, R7, R9, R11, R13, R15	6		RES, 470, 5%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW0402470RJNED	Vishay-Dale
R6, R8, R10, R12, R14, R16	6		RES, 0, 5%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW04020000Z0ED	Vishay-Dale
R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24	8		RES, 510, 5%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW0402510RJNED	Vishay-Dale
TP1, TP2	2		PCBピン, スエージ実装, TH	PCB Pin(2505-2)	2505-2-00-44-00-00-07-0	Mill-Max
U1	1		MSP430 Captivate マイコン	RHB (32VQFN)	MSP430FR2633IRHB	テキサス・インスツルメンツ

8.2.1 レイアウト・プリント

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIのレイアウト・プリントをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI>のデザイン・ファイルを参照してください。MSP CapTlvateマイコンの上面シルクスクリーンを図 19に、上層を図 20に、下層を図 21に示しています。また、下面シルクスクリーンを図 22に、機械的寸法を図 23に示しています。

J1

TEXAS INSTRUMENTS
MSP CapTlvate™MCUs

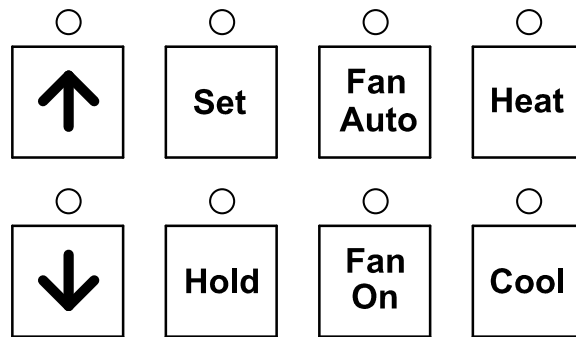


図 19. 上面シルクスクリーン

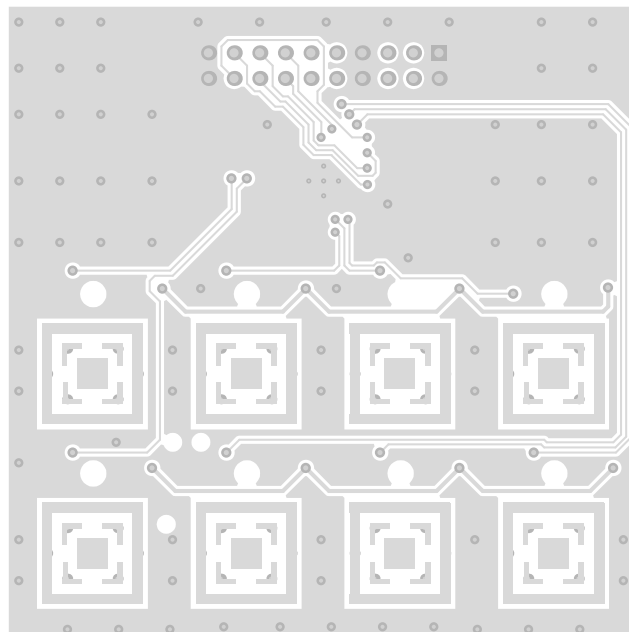


図 20. 上層

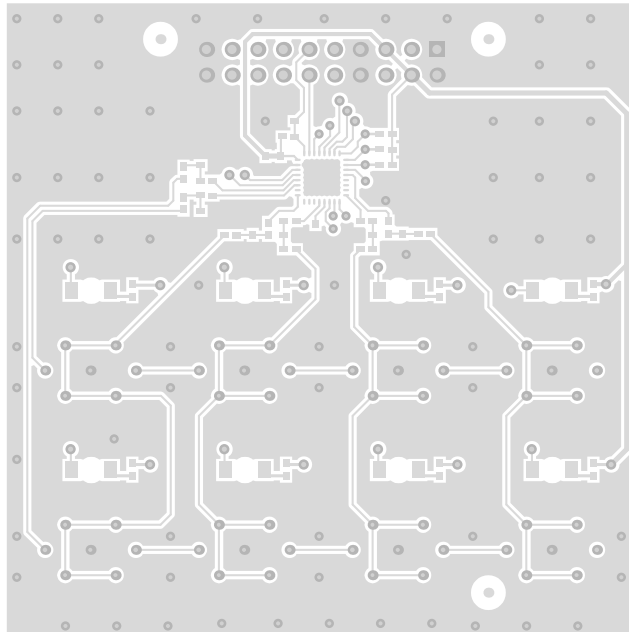
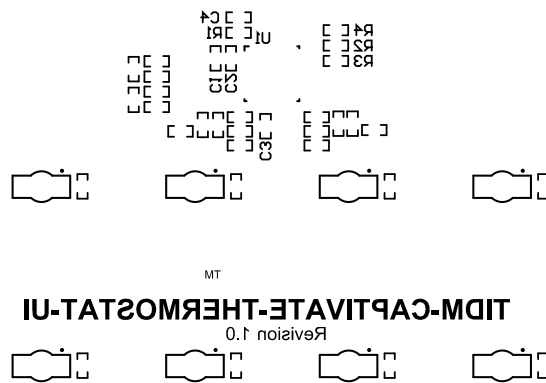


図 21. 下層



For evaluation only; not FCC approved for resale.

図 22. 下面シルクスクリーン

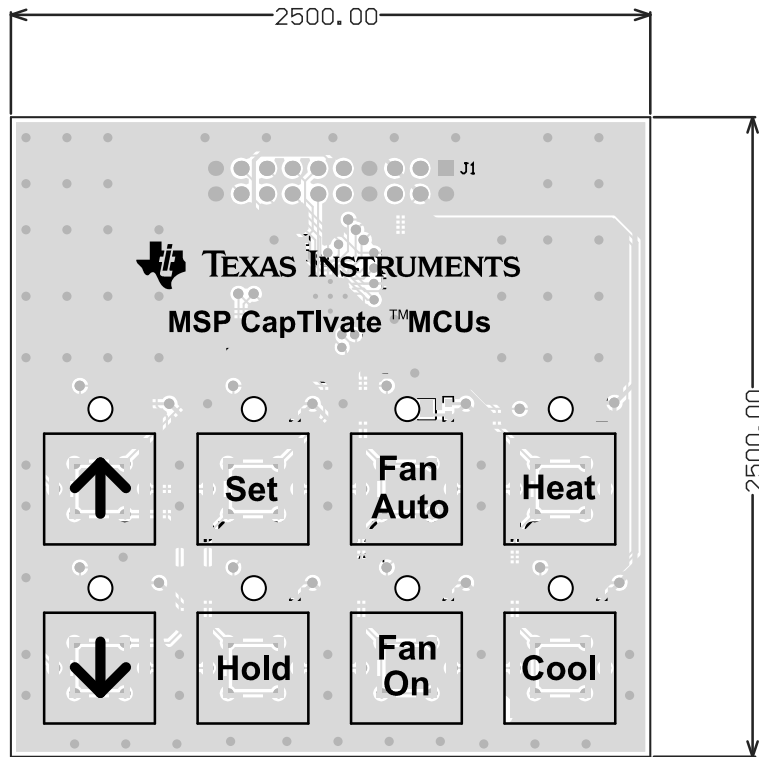


図 23. 機械的寸法

8.3 Altiumプロジェクト

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIのAltiumプロジェクト・ファイルをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI>のデザイン・ファイルを参照してください。MSP CapTivateマイコンの前面レイアウトを図 24に、背面レイアウトを図 25に示します。

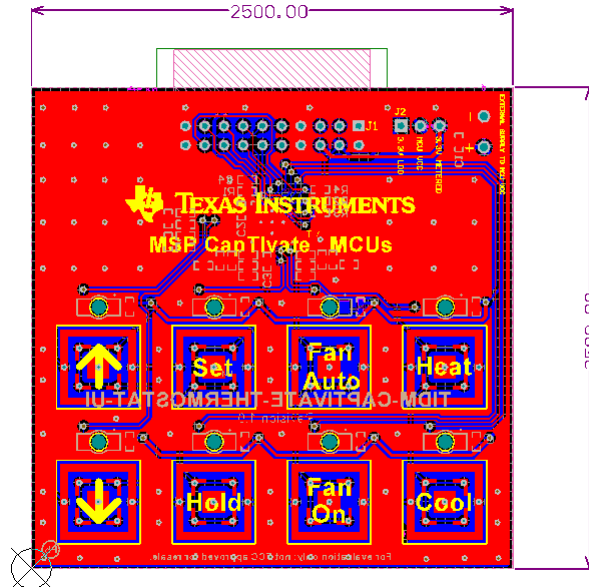


図 24. 前面レイアウト

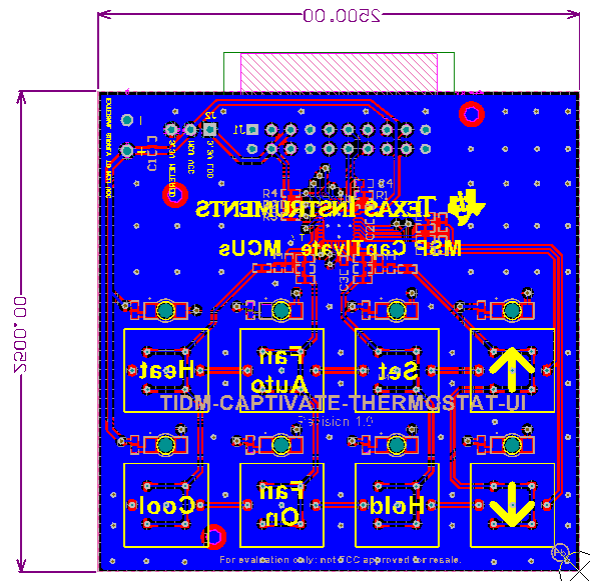


図 25. 背面レイアウト

9 ソフトウェア・ファイル

このリファレンス・デザインのソフトウェア・ファイルをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UI>のリンクを参照してください。

10 参考文献

1. テキサス・インスツルメンツCapTlvate Design Center、<http://www.ti.com/captivate>
2. テキサス・インスツルメンツE2Eコミュニティ、<http://e2e.ti.com/>

10.1 商標

静電容量式タッチ・センシング用MSP430, CapTlvate are trademarks of Texas Instruments.
すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

11 用語

- 自己容量– グランド(大地)を基準とした静電容量の変化を測定する方法
- 相互容量– コンデンサの両方のプレートが電極構造によって定義される場合に、センサ構造上での静電容量の変化を測定する方法
- ノイズ耐性– 電氣的なノイズの多い環境で適切な動作を維持できる能力

12 著者について

BENJAMIN MOOREは、テキサス・インスツルメンツのMSPマイコン・システム・アプリケーション・チームに属するアプリケーション・エンジニアです。オハイオ州コロンバスのオハイオ州立大学で電気およびコンピュータ工学学士 (BSECE) の学位を取得しています。

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供されるものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的のみに使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他のような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。